

# **Konzepte für den Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität zur interaktiven Wissensvermittlung**



Vom Fachbereich Informatik  
der Technischen Universität Darmstadt  
genehmigte

## **DISSERTATION**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

von  
**Dipl.-Ing. Bernd Lutz**  
**aus Aschaffenburg**

Referenten der Arbeit:	Prof. Dr. José L. Encarnação
	Prof. Dr. M. Schenk

Tag der Einreichung:	30. Juli 2004
Tag der mündlichen Prüfung:	10. September 2004

Darmstädter Dissertation  
Hochschulkennziffer D17

Für Melanie, Jessica und natürlich meine Eltern.

# Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Virtuelle und Erweiterte Realität“ des Fraunhofer Instituts für graphische Datenverarbeitung.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. José L. Encarnação für die Förderung dieses interessanten Themas und der Betreuung meiner Arbeit. Herrn Professor Dr. Schenk danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Wichtige Anstöße zu dieser Arbeit gab mir Prof. Dr. Stefan Müller, der immer bemüht war, mich zu motivieren. Ohne ihn hätte ich wohl nie aufgerafft diese Arbeit anzufangen, geschweige denn sie zu beenden.

Einen ebenso wichtigen Teil an dieser Arbeit hatten meine Kollegen der Abteilung „Virtuelle und Erweiterte Realität“, die besondere Kollegen in einer besonderen Abteilung sind. Hervorzuheben sind hierbei Christian Knöpfle, der mir als Mentor sehr viele Anregungen für die Arbeit geliefert hat, und Renate Gröpler, die beste Sekretärin der Welt. Ein großer Dank gilt auch meinen Korrekturleserinnen Jessica Rodríguez und Nicole Urban. Ausserdem möchte ich mich bei allen Studenten bedanken, die mich als HiWis, Praktikanten und Diplomanten unterstützt haben.

Jessica und Melanie danke ich für die Zeit, die sie mir für diese Arbeit geschenkt haben, sowie für die vielen Anregungen, Tipps und für die nötige Ablenkung.

Bei meinen Eltern möchte ich mich dafür bedanken, dass sie immer für mich da sind, wodurch sie dies alles ermöglicht haben.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung . . . . .	4
1.3 Begriffsdefinition Virtuelle Realität . . . . .	5
1.4 Begriffsdefinition Erweiterte Realität . . . . .	7
1.5 Abgrenzung zu Multimedia Lernprogrammen, e-Learning und Virtuellen Universitäten . . . . .	9
1.6 Gliederung der Arbeit . . . . .	10
1.7 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse . . . . .	11
<b>2 Anforderungsanalyse</b>	<b>15</b>
2.1 Analyse der technologischen Grundlagen . . . . .	15
2.1.1 Anforderungen an Virtuelle Welten . . . . .	15
2.1.2 Weitere technologische Rahmenbedingungen . . . . .	17
2.2 Analyse der didaktischen Grundlagen . . . . .	17
2.2.1 Betrachtung der neun W-Fragen der Didaktik . . . . .	17
2.2.2 Betrachtung der unterschiedlichen Sichtweisen auf Lernprozesse . .	21
2.2.3 Betrachtung der Sozialformen des Unterrichts . . . . .	23
2.3 Zusammenfassung . . . . .	24
<b>3 Wissensvermittlung in Virtuellen Welten</b>	<b>27</b>
3.1 Untersuchung der verschiedenen Lernwelttypen . . . . .	27
3.1.1 Trainingswelten . . . . .	27
3.1.2 Konstruktionswelten . . . . .	28
3.1.3 Explorationswelten . . . . .	28
3.1.4 Experimentalwelten . . . . .	28
3.2 Technologische Möglichkeiten zur Wissensvermittlung in Virtuellen Welten	29
3.2.1 Visuelle Repräsentation . . . . .	29
3.2.2 Darstellung von Abläufen . . . . .	30
3.2.3 Integration multimedialer Inhalte . . . . .	31
3.2.4 Interaktion mit der Lernwelt . . . . .	31
3.3 Methodische Möglichkeiten zur Wissensvermittlung in Virtuellen Welten .	32
3.3.1 Reduktion . . . . .	32
3.3.2 Verfremdung . . . . .	32
3.3.3 Rollenspiel . . . . .	33
3.4 Beachtung der unterschiedlichen Lerntypen . . . . .	33

3.5	Zusammenfassung . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Typische Elemente von Virtuellen Wissenswelten</b>	<b>35</b>
4.1	Elemente Virtueller Welten . . . . .	35
4.2	Elemente rechnergestützter Lernwelten . . . . .	37
4.3	Multimediale Daten . . . . .	39
4.4	Verhalten . . . . .	42
4.5	Eingabe . . . . .	45
4.6	Ausgabe . . . . .	45
4.7	Zusammenfassung . . . . .	47
<b>5</b>	<b>Ein Basissystem für Virtuelle Lernwelten</b>	<b>49</b>
5.1	Authoring- und Aufbaukomponenten . . . . .	49
5.1.1	Modellierung Virtueller Lernwelten . . . . .	50
5.1.2	Framework für ein Autorensystem für Virtuelle Welten . . . . .	65
5.1.3	Ein Konzept für die Adaption von Verhaltensdefinitionen . . . . .	68
5.2	Präsentationskomponenten . . . . .	75
5.2.1	Der Lernweltverwalter . . . . .	76
5.2.2	Datenhaltungssystem . . . . .	77
5.3	Beispielhafte Anwendungsfälle . . . . .	78
5.3.1	Sequenzdiagramme . . . . .	79
5.4	Zusammenfassung . . . . .	80
<b>6</b>	<b>Interaktion in Virtuellen Lernwelten</b>	<b>83</b>
6.1	Interaktionsszenarien . . . . .	84
6.1.1	Interaktionsszenarien für eine Person . . . . .	84
6.1.2	Interaktionsszenarien für Gruppen . . . . .	85
6.1.3	Abbildung der Interaktionsszenarien auf die Sozialformen des Unterrichts . . . . .	90
6.2	Gruppeninteraktion in Virtuellen Lernwelten . . . . .	90
6.2.1	Definition des Gruppenbegriffs . . . . .	91
6.2.2	Gruppenparameter . . . . .	92
6.2.3	Aufgabenverteilung für Gruppeninteraktionen . . . . .	93
6.2.4	Zugriffskontrollen . . . . .	97
6.2.5	Unterscheidung zwischen verteilten und gemeinsamen Virtuellen Welten . . . . .	97
6.2.6	Unterscheidung nach Gruppengröße . . . . .	98
6.3	Zusammenfassung . . . . .	101
<b>7</b>	<b>Konzeption und Realisierung eines universellen Interaktionsgeräts</b>	<b>103</b>
7.1	Klassifikationsschema für Interaktionsgeräte . . . . .	103
7.1.1	Spezielle Eingabegeräte für Virtuelle und Erweiterte Realität . . . . .	104
7.1.2	Eingabegeräte für Desktopanwendungen . . . . .	105
7.1.3	Intuitive und spezielle Eingabegeräte . . . . .	106
7.1.4	Virtuelle Eingabegeräte . . . . .	109
7.2	Ein intelligentes Interaktionsgerät für Virtuelle Wissenswelten . . . . .	110
7.3	Systemarchitektur . . . . .	112

7.3.1	Kommunikation zwischen GUI und VR System . . . . .	113
7.4	Realisierung der Eingabegeräte . . . . .	115
7.4.1	Virtuelle Eingabegeräte . . . . .	115
7.4.2	Externe Eingabegeräte . . . . .	116
7.5	Integration weiterer Ausgabekanäle . . . . .	117
7.6	Realisierung der verschiedenen Interaktionsszenarien . . . . .	119
7.6.1	Einzelbenutzer-Interaktion . . . . .	119
7.6.2	Gruppeninteraktion . . . . .	120
7.7	Zusammenfassung . . . . .	120
<b>8</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>121</b>
8.1	Virtual Dunhuang Art Cave . . . . .	121
8.1.1	Präsentation der Virtuellen Welt . . . . .	121
8.1.2	Interaktion mit der Virtuellen Welt . . . . .	122
8.1.3	Wissensvermittlung . . . . .	123
8.2	Der Virtuelle Dom von Siena . . . . .	123
8.2.1	Systemarchitektur . . . . .	123
8.2.2	Aufbau der Virtuellen Welt . . . . .	125
8.2.3	Immersive Storytelling . . . . .	125
8.2.4	Interaktion mit der Virtuellen Welt . . . . .	126
8.2.5	Wissensvermittlung . . . . .	127
8.3	Archeoguide . . . . .	127
8.3.1	Systemarchitektur . . . . .	128
8.3.2	Interaktion mit der Virtuellen Welt . . . . .	128
8.3.3	Wissensvermittlung . . . . .	129
8.4	Die Mondsucher . . . . .	130
8.4.1	Die Grundlagen . . . . .	130
8.4.2	Die Aufgabenstellung . . . . .	131
8.4.3	Die Interaktionsmöglichkeiten . . . . .	131
8.5	Zusammenfassung . . . . .	134
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>137</b>
<b>10</b>	<b>Ausblick</b>	<b>141</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>143</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>145</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>149</b>
	<b>Eigene Veröffentlichungen</b>	<b>155</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>157</b>





# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

„Erkläre es mir, und ich vergesse.  
Bring es mir bei, und ich erinnere mich.  
Lass es mich selbst tun, und ich verstehe.“  
*Konfuzius*

Dieses Sprichwort beschreibt den Trend, den man in der Didaktik heute findet. In der Literatur findet man diese Aussage immer wieder in Form von Diagrammen, wie z.B. in Abbildung 1.1 dargestellt. Ausführlicher aufgeschlüsselt lassen sich diese Aussagen noch-

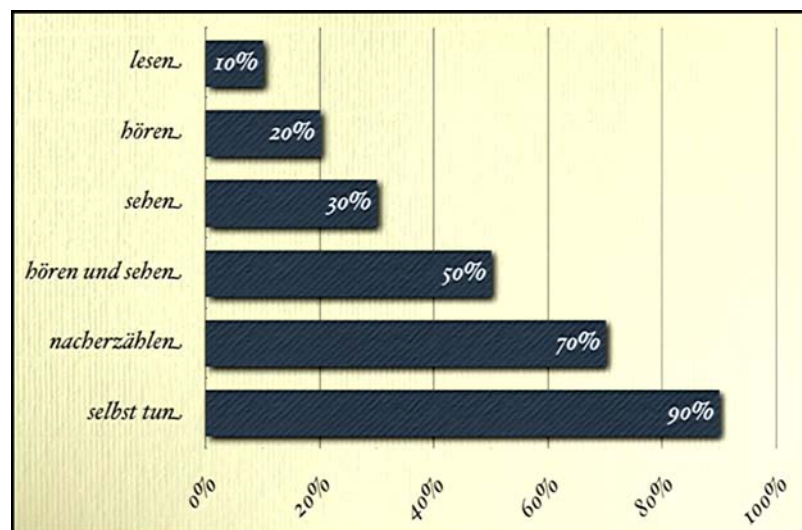


Abbildung 1.1: Lernerfolge in Abhängigkeit der Methode

mals im „Erfahrungskegel“ von DALE [Dal69] nachvollziehen (vgl. Abbildung 1.2). Auch wenn diese Zahlen sich nicht empirisch belegen lassen, zeigt schon die eigene Erfahrung beim Lernen, dass man Sachen, die man durch verschiedene Medien näher gebracht bekommt, leichter behält und dass sich viele Sachverhalte erst richtig erschließen, wenn man sie praktisch angewandt hat.

In der heutigen Informationsgesellschaft wird es immer notwendiger sich Wissen anzueignen und komplexe Informationen zu veranschaulichen. Schon in der Schule müssen immer mehr und kompliziertere Sachverhalte vermittelt werden. Dieser Vorgang setzt sich in den Universitäten, aber auch im Berufsleben fort. Die sich ständig weiter entwickelnde Technologie und die ständig steigende Menge an vorhandenen und benötigten Informationen fordert von vielen Menschen die Bereitschaft ständig neue Sachverhalte zu lernen und sich an neue Wissensstände anzupassen.

## 1 Einleitung

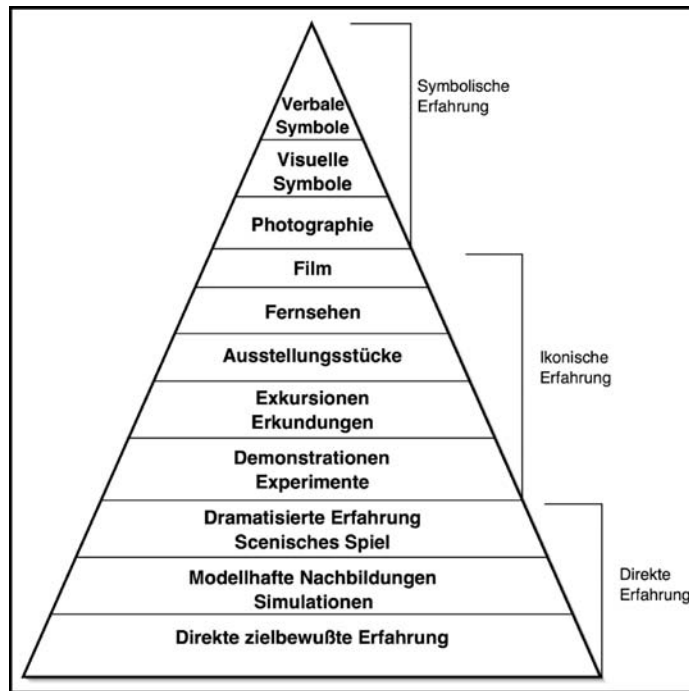


Abbildung 1.2: Der „Erfahrungskegel“ von DALE

Aus den genannten Gründen wird es immer wichtiger das Lernen zu optimieren und ein lebenslanges Lernen zu unterstützen. Um eine effektive Wissensvermittlung zu ermöglichen, sollten u.a. folgende Grundsätze betrachtet werden:

- Unterstützen der Lernmotivation.
- Berücksichtigung der Voraussetzungen und Interessen verschiedener Lerntypen.
- Einfache und einleuchtende Darstellung komplexer Sachverhalte.
- Verstärktes Lernen durch eigene Erfahrungen lernen.

Diese Forderungen rücken den einzelnen Lerner stärker in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Neue didaktische Konzepte unterstützen dies in zunehmendem Maße. Das Konzept des *Handlungsorientierten Unterrichts* stellt beispielsweise die eigene Erfahrung in den Vordergrund. Dabei wird theoretisches Wissen in komplexen und problemhaltigen Aufgaben angewandt, wobei Lerninhalte von verschiedenen Stoffgebieten einbezogen werden. Die Lerner müssen ihr Vorgehen, zumindest teilweise, selbständig planen, durchführen und kontrollieren, wobei sie selbstgesteuert und entsprechend ihrem eigenen Lerntempo vorgehen. Aus der konkreten Handlung sollen rückschließende Fragen auf die Theorie entstehen (vgl. Abbildung 1.3) [Rie01]. An dieser Stelle können Virtuelle Lernwelten helfen diese Aspekte im Unterricht umzusetzen und somit neue Möglichkeiten der Wissensvermittlung zu erschließen.

Schon im 17. Jahrhundert sagte Johann Amos Comenius, eine der bedeutendsten Vertreter der pädagogischen Reformbewegung dieser Zeit, in seinem Buch „Grosse Didaktik“:

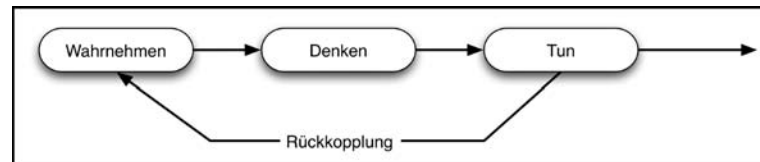


Abbildung 1.3: Die Rückkopplung des Tuns auf die Wahrnehmung und das Denken

„Daher die goldene Regel für alle Lehrenden: Alles soll wo immer möglich den Sinnen vorgeführt werden, was sichtbar dem Gesicht, was hörbar dem Gehör, was riechbar dem Geruch, was schmeckbar dem Geschmack, was fühlbar dem Tastsinn. Und wenn etwas durch verschiedene Sinne aufgenommen werden kann, soll es den verschiedenen zugleich vorgesetzt werden [...]“.  
[Com92]

Virtuelle Realität bietet die Möglichkeit diese goldene Regel des Comenius für viele unterschiedliche Themengebiete anzuwenden. Die Einbeziehung von unterschiedlichen Sinnen bei der Wissensvermittlung wird aktiv unterstützt und die realistische, dreidimensionale Darstellung vermittelt einen besseren Eindruck von den behandelten Objekten als zweidimensionale Bilder oder Filme. Auch eine weitere Forderung Comenius kann durch interaktive Virtuelle Welten erfüllt werden:

„Der Gebrauch der Werkzeuge muss mehr durch die Tat als durch Worte, d.h. mehr durch Beispiele als durch Vorschriften gelehrt werden“. [Com92]

Die Technologien der Virtuellen Realität haben schon seit einiger Zeit die Forschungslabore verlassen, werden bisher aber kaum zur Wissensvermittlung eingesetzt. Haupteinsatzgebiet ist bisher die industrielle Nutzung, hier wird VR vor allem in der Produktion von Fahr- und Flugzeugen genutzt. Virtuelle Realität wird hierbei hauptsächlich zur Visualisierung von Bauteilen und Simulationsergebnissen oder zur Überprüfung von Montageabläufen eingesetzt. So können Designer neu entworfene Bauteile sehr schnell in einer realistischen und stereoskopischen Darstellung betrachten und Fehler begutachten, ohne erst einen realen Prototypen bauen zu müssen. Der Einsatz von Erweiterter Realität ist bisher noch auf die Forschung beschränkt, was hauptsächlich mit technologischen Problemen zusammenhängt, ein starkes Interesse der Industrie an dieser Technologie und erste Augmented Reality (AR) Spiele auf Mobiltelefonen lassen aber eine weite Verbreitung in den nächsten Jahren erwarten.

Es gibt allerdings ein Gebiet, in dem Virtuelle Realität schon sehr lange in der Ausbildung eingesetzt wird; die Pilotenausbildung. Nur durch Simulatoren kann theoretisches Wissen in der Praxis vertieft und komplizierte oder gefährliche Flugmanöver trainiert werden. Auch für Schiffskapitäne existieren ähnliche Ausbildungsmöglichkeiten.

Verhindert wurde der Einsatz von Virtueller Realität außerhalb von industriellen Anwendungen u.a. durch die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten für die benötigte Hard- und Software und durch den hohen Aufwand, der für die Erstellung eines Anwendungsszenarios notwendig ist. Durch den verstärkten Einsatz von sehr leistungsfähigen 3D Graphikkarten auch in privaten Rechnern, welcher hauptsächlich durch immer komplexere 3D Spiele hervorgerufen wurde, sowie die allgemeine Steigerung der Rechenleistung sind die Preise für Computer mit ausreichender Leistung in den letzten Jahren aber stark gesunken. Durch den verstärkten Einsatz von Videoprojektoren im privaten Umfeld ist auch für

die Projektionstechnologie ein Abwärtstrend in der Preisentwicklung zu beobachten. Diese Trends werden sich in den nächsten Jahren noch weiter fortsetzen und somit den Einsatz von Virtueller Realität in weiteren Bereichen vereinfachen. Eine ähnliche Entwicklung ist, mit einiger Verzögerung, auch für die Erweiterte Realität zu erwarten. Ein Gebiet, in dem in den letzten Jahren immer wieder Virtuelle und Erweiterte Realität eingesetzt wurde, ist beispielsweise der Bereich des Kulturerbes[Lut01].

Der Einsatz von VR in vielen Bildungseinrichtungen wird auch dadurch vereinfacht, dass oft schon Rechnerräume und Projektionsmöglichkeiten vorhanden sind oder sich im Aufbau befinden. Für ein einfaches VR System reichen 1-2 Rechner mit aktueller Grafikkarte und 1-2 Videobeamer schon aus. Somit sind oftmals schon einige der Voraussetzungen für den Einsatz solcher Technologien erfüllt.

### 1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Zwar wird Virtuelle Realität schon seit einiger Zeit in industriellen Anwendungen eingesetzt und auch für Erweiterte Realität entstehen schon die ersten prototypischen Anwendungen, diese lassen sich aber nur bedingt für den Einsatz zur Wissensvermittlung nutzen. Um ein effektives Lernen zu erreichen, müssen sowohl technologische als auch didaktische Anforderungen beachtet werden. Im Rahmen dieser Arbeit sollen diese Anforderungen an Virtuelle Lernwelten herausgearbeitet und auf deren Grundlage Konzepte, die den Einsatz dieser Technologien zur interaktiven Wissensvermittlung erleichtern, erarbeitet werden.

Virtuelle Welten, als eine Abbildung realer oder real wirkender Umgebung, ermöglichen es dem Lerner schon durch die bloße Beobachtung der dargestellten Umgebung Informationen über das Thema dieser Welt zu erhalten. Durch den Einsatz geeigneter Methoden zur Wissensvermittlung kann dieses Lernen durch Beobachtung aber noch weiter intensiviert werden. Es soll daher untersucht werden, welche Möglichkeiten Virtuelle Welten zur Wissensvermittlung bieten, und wie diese Möglichkeiten erweitert werden können.

Da Lernwelten nur in den seltensten Fällen so flexibel gestaltet werden können, dass sie alle möglichen Veränderungen der Rahmenbedingungen für ihren Einsatz abdecken, ist es wichtig Werkzeuge zur Anpassung dieser Welten zu schaffen. Es werden Möglichkeiten benötigt die Inhalte und den Ablauf auf einfache Weise zu ändern und anzupassen, wobei diese Werkzeuge es auch Laien (ohne Kenntnissen in den Bereichen Programmierung oder 3D Modellierung) ermöglichen sollten einfache Änderungen vorzunehmen.

Die Interaktion ist eine der Grundsäulen der Wissensvermittlung durch Virtuelle Welten, daher müssen geeignete Geräte und Metaphern für eine Interaktion mit der Lernwelt gefunden werden. Bei den Interaktionsmethaphern ist es besonders wichtig auf eine intuitive Bedienung zu achten, um zu verhindern, dass die Lerner durch eine komplexe Interaktion vom Lerninhalt abgelenkt werden. Dabei ist auch auf die Robustheit der Interaktionsgeräte zu achten, was besonders für öffentliche Lernorte äußerst wichtig ist.

Heutige Virtuelle Welten werden in den meisten Fällen von einzelnen Personen bedient. Lernen hat aber meist auch eine soziale Komponente, die die Team- und Kommunikationsfähigkeit der Lernenden fördern soll. Dies erfordert die Entwicklung geeigneter Konzepte zur Gruppeninteraktion, wobei, vor allem für öffentliche Lernorte, auch die Interaktion in Großgruppen zu beachten ist.

Ziel dieser Arbeit ist es nicht, Werkzeuge zur Entwicklung von Knowledge Management Systemen, zur automatischen Generierung von Kursangeboten aus Wissensdatenbanken

o.ä., bereit zu stellen. Solche Werkzeuge können aber die Grundlage für Virtuelle Lernwelten bilden oder an diese angebunden werden. Es werden im Rahmen dieser Arbeit auch keine didaktischen Methoden für den Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität entwickelt.

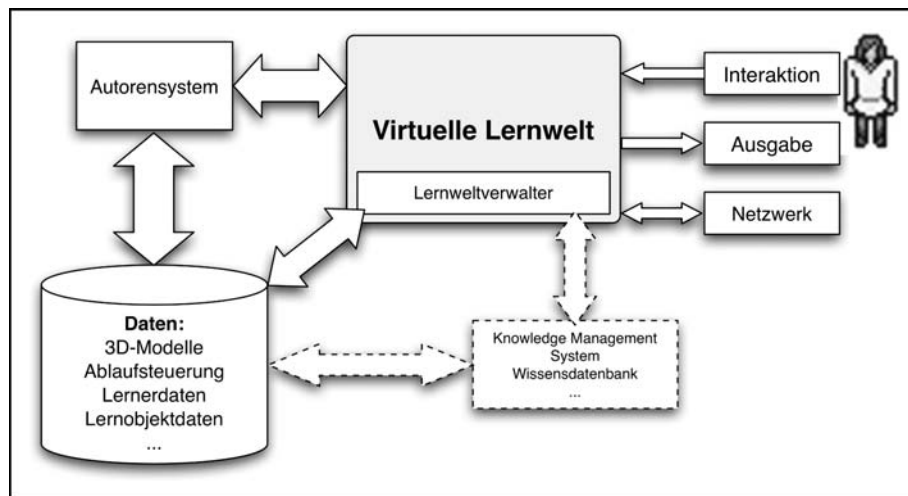


Abbildung 1.4: System Diagramm

### 1.3 Begriffsdefinition Virtuelle Realität

Der Begriff *Virtuell* wird, besonders im Bereich der Wissensvermittlung, sehr oft und in den verschiedensten Bedeutungen benutzt. Deswegen soll hier eine Definition des Begriffes *Virtuell*, wie er im Rahmen dieser Arbeit benutzt wird, erfolgen.

Die wichtigsten Merkmale einer Virtuellen Welt sind: Echtzeit, Interaktivität und Immer-

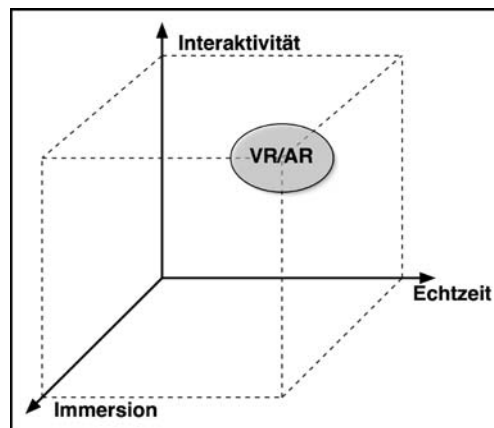


Abbildung 1.5: Definition von Virtueller und Erweiterter Realität

sion.

**Echtzeit:** Die Berechnung der visuellen Darstellung und die Simulation der darzustellenden Szene muss in Echtzeit erfolgen. Dies bedeutet, dass der Rechner in der Lage

## 1 Einleitung

sein muss mehr als ca. 25 Bilder pro Sekunde zu erzeugen. Sinkt die Darstellungsgeschwindigkeit unter diesen Wert, so wirkt dies störend auf den Betrachter und die Interaktion mit der Szene wird stark erschwert. Die Geschwindigkeit der Darstellung hängt hauptsächlich von zwei Faktoren ab, zum Einen von der Geschwindigkeit des Renderings und zum Anderen von der Geschwindigkeit der Simulation.

**Interaktivität:** Die Darstellung der Szene in Echtzeit ermöglicht es dem System sofort auf Eingaben des Benutzers oder andere Veränderungen zu reagieren und die Darstellung entsprechend anzupassen. Im Gegensatz zu einer Animation, welche auch computergeneriert sein kann, hat der Benutzer in einer Virtuellen Welt Einfluss auf das Geschehen in dieser Welt. Die einfachste Form von Interaktion ist die Steuerung der virtuellen Kamera. Der Benutzer kann sich frei in der Welt umsehen. Somit ist es ihm möglich seine Aufmerksamkeit auf diejenigen Objekte zu fokussieren, die ihn interessieren. Des Weiteren sind andere Interaktionsformen möglich, welche die Simulation der Welt verändern. Dies kann das Ändern von Parametern, wie z.B. Position, Orientierung oder Farbe von Objekten sein, oder auch die Veränderung von Simulationsparametern, wie z.B. die Simulationszeit. Die Interaktion ermöglicht es die Virtuelle Welt zu erforschen und den Ablauf der Präsentation zu beeinflussen, was ein sehr wichtiger Aspekt für Virtuelle Lernwelten ist.

**Immersion:** Immersion beschreibt das Gefühl des Benutzers ein Teil der Virtuellen Welt zu sein. Er ist nicht mehr nur ein außenstehender Betrachter, sondern wird zu einem Akteur in dieser Welt. Für eine Virtuelle Lernwelt bedeutet dies, dass das Erleben der Welt und die darin gesammelten Eindrücke sehr realistisch und nachhaltig sind. Erreicht werden kann dieses Gefühl u.a. durch eine realistische visuelle Darstellung der Welt, durch das Einbinden weiterer Medien oder Ausgabekanäle wie z.B. Ton und Haptik, durch eine stereoskopische Darstellung der Welt und durch die Möglichkeit zur Interaktion.

Die Forderung nach Echtzeitdarstellung lässt sich für viele Szenen nur durch eine hardwareunterstützte Bildberechnung erreichen. Durch einen geschickten Aufbau der einzelnen Objekte und der gesamten Szene können auch sehr komplexe Szenen noch in Echtzeit dargestellt werden. Für die Interaktion mit der Szene werden spezielle Eingabegeräte benötigt, welche die Aktionen der Benutzer an das VR System vermitteln. Zu beachten ist hierbei auch, dass der rechnerinterne Aufbau der Szene die Interaktion unterstützt. Eine wichtige Rolle für den erreichbaren Immersionsgrad spielt das Ausgabegerät. Man unterscheidet hauptsächlich zwei Präsentationsformen für Virtuelle Welten (Immersive VR und Desktop VR), wobei die Grenzen zwischen diesen Formen fließend sind:

**Immersive Darstellung:** Der Benutzer fühlt sich vollständig als Teil der Virtuellen Welt. Sein Gesichtsfeld ist größtenteils oder ganz von der Präsentation ausgefüllt. Als Ausgabegerät kann hier eine CAVE [CNSD93] oder ein Head-Mounted-Display dienen. Die Kosten für die Ausgabegeräte sind hier recht hoch und eventuell vorhandene Geräte können nur bedingt genutzt werden.

**Semi-Immersive Darstellung:** Unter dieser Bezeichnung werden meist stereoskopische Großbildleinwände (mit einem Blickwinkel von mehr als 60 Grad) verstanden. Der Benutzer fühlt sich immer noch als Teil der Welt, hat aber ständig die Möglichkeit den Blick auf reale Objekte zu werfen.

In der Literatur wird oft nicht zwischen immersiver und semi-immersiver Darstellung unterschieden, sondern beide Fälle als immersive Darstellung bezeichnet.

**Desktop VR:** Der Benutzer fühlt sich nur bedingt als Teil der Virtuellen Welt, da reale Objekte ständig in seinem Blickfeld sind. Dies ist z.B. bei der Darstellung von Virtuellen Welten auf normalen Monitoren der Fall. Durch die in den meisten Fällen fehlende stereoskopische Darstellung und den kleinen Teil des Gesichtsfeldes, den die VR Präsentation einnimmt, ist der Immersionsgrad geringer und der Benutzer kann jederzeit einen Blick auf die reale Umgebung werfen.

Dies ist die kostengünstigste und einfachste Form der VR Präsentation, vor allem weil man auf vorhandene Ausgabegeräte zurückgreifen kann.

Untersuchungen haben ergeben, dass das Gefühl der Präsenz in der Virtuellen Welt, aber auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Simulatorkrankheit mit der Vergrößerung des Blickwinkels zunimmt [LDP<sup>+</sup>02].

Besonders in der institutionellen Wissensvermittlung wird man oft auf eine voll immersive Darstellung vorerst verzichten müssen, u.a. da die Kosten für die benötigte Technologie zur Zeit noch sehr hoch sind.

### 1.4 Begriffsdefinition Erweiterte Realität

Unter Erweiterter Realität (abgekürzt AR, Augmented Reality) versteht man das Mischen realer und computergenerierter Bilder in Echtzeit. Um überzeugende Virtuelle Welten zu erstellen, ist ein hoher Aufwand für die Modellierung und das Rendering notwendig, vor allem wenn reale Umgebungen photorealistisch dargestellt werden sollen. Daher bietet es sich in vielen Fällen an, die reale Umgebung als Hintergrund darzustellen und diese mit virtuellen Objekten zu erweitern. Um dies zu erreichen, muss die Position des Benutzers in der realen Welt exakt bekannt sein, um die virtuelle Kamera in der virtuellen Welt an der gleichen Stelle zu positionieren und somit virtuelle und reale Welt zur Deckung zu bringen (vgl. Abbildung 1.6). Es existieren verschiedene Lösungen, um dem Benutzer das

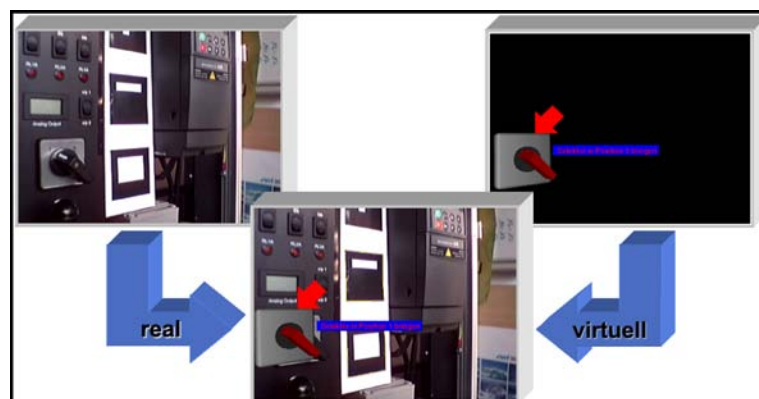


Abbildung 1.6: Mischen von realem und virtuellem Bild bei Erweiterter Realität

gemischte Bild zu präsentieren (vgl. Abbildung 1.7):

**Optisches See-Through:** Der Benutzer betrachtet bei diesem Verfahren die Umgebung durch eine spezielle Brille, in welche die computergenerierten Bilder eingeblendet

## 1 Einleitung

werden. Dies ist die ideale Darstellung für Erweiterte Realität und wird von der aktuellen Forschung angestrebt. Schwierigkeiten bei dieser Art der Präsentation ergeben sich zum Einen aus der noch nicht befriedigenden Qualität der verfügbaren Brillen, welche idealerweise eine große Transparenz für den Blick auf die reale Welt, gute Abdeckung der Realität durch die virtuellen Objekte, hohe Leuchtkraft und Auflösung bei niedrigem Gewicht aufweisen sollten. Zum Anderen stellt diese Präsentationsart sehr hohe Anforderungen an die Technologie. Sowohl die Position und Orientierung des Benutzers als auch die Position der Brille in Relation zu den Augen muss sehr exakt bekannt sein, um virtuelle Objekte richtig in das Blickfeld des Benutzers einblenden zu können. Außerdem muss eine sehr hohe Verarbeitungs- und Bildberechnungsgeschwindigkeit erreicht werden, um ein Nachziehen der virtuellen Bilder bei Bewegungen zu verhindern.

**Video-See-Through:** Hierbei wird die reale Welt mittels einer Kamera aufgezeichnet und die virtuellen Objekte in diesen Videostrom eingemischt. Dies kann als Nachbearbeitungsschritt, nachdem der ganze Film aufgezeichnet wurde, oder in Echtzeit geschehen. Da das nachträgliche Einfügen virtueller Objekte in einen Videostrom keine Interaktion des Benutzers zulässt, soll dieses Verfahren, im Gegensatz zur Integration in Echtzeit, hier nicht weiter betrachtet werden. Die Echtzeit Variante wird oft eingesetzt, um die Nachteile des See-Through AR zu kompensieren. Über eine Miniaturkamera auf der Brille wird die Umgebung aufgenommen und dem Benutzer auf kleinen Displays in der Brille gemischt mit den Virtuellen Bildern präsentiert.

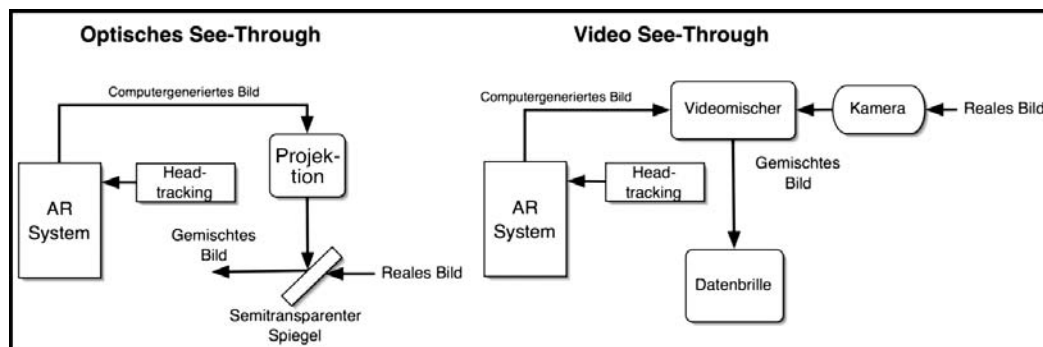


Abbildung 1.7: Unterschied zwischen optischem und Video See-Through

Wie man anhand der vorherigen Ausführungen erkennen kann, sind die Ansprüche an die eingesetzten Technologien bei der Erweiterten Realität sehr hoch. Für die Positionsbestimmung in der realen Welt und das Erzeugen der virtuellen Objekte wird ein leistungsfähiger Rechner benötigt. Dieser Rechner muss für viele Anwendungsgebiete mobil sein, d.h. das Gewicht und die Batterielaufzeit spielen eine große Rolle. Ebenso sind das Gewicht und die Qualität der eingesetzten Brillen sehr wichtig. Verzichtet man auf die Mobilität, so können viele dieser Probleme umgangen werden. Ein Beispiel für ein solches stationäre AR Gerät ist das AR Fernglas (vgl. Abbildung 1.8) [LBSB04].

Bedingt durch die Technologie hat der Benutzer bei AR Welten immer einen eigenen Blick auf die Erweiterte Welt. Daher kommen von den im Kapitel 6.1 beschriebenen Interaktionszenarien nur das für Einzelbenutzer oder das für Verteilte Virtuelle Welten in Frage.



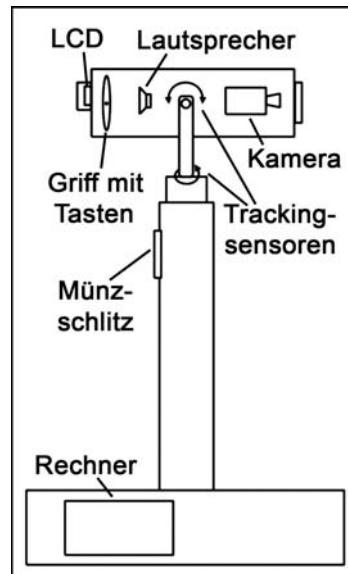


Abbildung 1.8: Schematischer Aufbau des AR Fernglas

## 1.5 Abgrenzung zu Multimedia Lernprogrammen, e-Learning und Virtuellen Universitäten

Begriffe wie e-learning, Multimedia Lernprogramme, Virtuelle Welten oder Virtuelle Universitäten werden in der Literatur immer öfter als Beispiele für das Lernen mit neuen Medien verwendet. Dabei werden die Begriffe oft unterschiedlich definiert und miteinander vermischt. An dieser Stelle soll eine Abgrenzung dieser Begriffe zu den in dieser Arbeit benutzten Begriffen Virtuelle und Erweiterte Realität und Virtuelle Lernwelt erfolgen.

Unter **Multimedia** versteht man die Integration verschiedener Medien, wie z.B. Bilder, Texte, Filme, Audio, o.ä., in eine gemeinsame Bedienoberfläche, mit der der Benutzer interagieren kann. Wichtig ist hierbei die Integration dieser Medien in ein System, da diese erst eine einheitliche Behandlung dieser Medien ermöglicht [Bau93]. Der Übergang von Multimedia Anwendungen zu Desktop VR ist fließend, da Multimedia Systeme heutzutage auch in der Lage sind dreidimensionale Inhalte, z.B. durch Shockwave 3D, zu integrieren. Der Unterschied zu immersiver VR ist aber deutlich zu ziehen. Das im Kapitel 1.3 beschriebene Gefühl der Immersion wird in Multimedia Anwendungen, welche meist auf normalen Bildschirmen und monoskopisch betrachtet werden, nur sehr schwer erreicht. Das Erzeugen von einem Präsenzgefühl ist normalerweise auch nicht das Ziel einer Multimedia Anwendung. Durch eine inhaltlich dichte und spannende Geschichte, wie sie oft in Spielen zu finden ist, kann der Benutzer aber auch so gefesselt werden, dass er die Welt um sich vergisst. In Virtuellen Welten, vor allem wenn sie in einer CAVE oder mittels HMD stereoskopisch präsentiert werden, ist der Benutzer komplett von der Virtuellen Welt umgeben, und erreicht somit sehr schnell ein Immersionsgefühl, das ihm hilft, sich besser in die Lernsituation einzufühlen.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal sind die Interaktionsmöglichkeiten in diesen Systemen. Multimedia Anwendungen werden meist von einzelnen Benutzern an herkömmlichen Rechnersystemen mit Interaktionsgeräten, wie z.B. Maus, Tastatur oder Joystick,

bedient. Virtuelle Welten bieten dagegen eine deutlich größere Auswahl an Interaktionsgeräten, welche eine Interaktion im dreidimensionalen Raum ermöglichen und auch reale Geräte abbilden können. Dadurch, dass die meisten VR Systeme die gleichzeitige Nutzung mehrerer Geräte unterstützen, lassen sich auch Gruppenszenarien einfacher realisieren und gezielter einsetzen, was insbesondere für die soziale Komponente des Unterrichts wichtig ist.

Die Begriffe **e-Learning** und **Virtuelle Universitäten** bezeichnen computerunterstützte Lernszenarien, in denen sich verteilte Benutzer mittels Netzwerktechnologien an virtuellen Lernorten treffen oder Aufgaben erhalten und Lösungen abgeben können. Diese Begriffe beschreiben daher Methoden und Konzepte, um mittels Rechner- und Netzwerktechnologien zu lernen, wobei die Realisierung meist durch den Einsatz einer Vielzahl unterschiedlicher Technologien erfolgt. Die Kommunikation zwischen Lehrenden und Lerner sowie den Lernern untereinander kann hierbei synchron, d.h. in Echtzeit, oder auch asynchron ablaufen. Synchrone Kommunikation kann über Technologien wie IRC, Videokonferenzsysteme oder Virtuelle Welten laufen, für die asynchrone Kommunikation wird meist e-mail benutzt. Aspekte Virtueller Welten, wie die Bildgenerierung in Echtzeit und Immersion spielen dabei meist nur eine untergeordnete Rolle. Virtuelle Lernwelten lassen sich aber als Methoden im Rahmen von e-learning nutzen.

### 1.6 Gliederung der Arbeit

Nach einer Begriffsdefinition von Virtueller und Erweiterter Realität und der Abgrenzung der Arbeit zu Multimedia Lernprogrammen, e-Learning und Virtuellen Universitäten werden im Folgenden Konzepte zum Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität zur interaktiven Wissensvermittlung erarbeitet. Dabei werden sowohl institutionelle als auch öffentliche Lernorte betrachtet.

Wie schon in Kapitel 1.1 erläutert, werden Virtuelle Welten in der Industrie schon seit längerer Zeit erfolgreich angewandt, so dass hierfür viele verschiedene Konzepte verfügbar sind. Allerdings weichen diese Konzepte sehr stark von den Anforderungen ab, die Virtuelle Lernwelten an die Technologie stellen. Daher werden, um geeignete Konzepte für den Einsatz dieser Technologien im Bereich der interaktiven Wissensvermittlung zu entwickeln, zu Beginn dieser Arbeit die Anforderungen herausgearbeitet, die an eine Virtuelle Lernwelt gestellt werden (vgl. Kapitel 2). Dazu werden die technologischen und didaktischen Grundlagen für eine solche Welt analysiert und daraus die Anforderungen an diese abgeleitet.

In Kapitel 3 wird untersucht, welche Möglichkeiten eine Virtuelle Lernwelt zur Wissensvermittlung bietet. Im Mittelpunkt dieser Untersuchung stehen erneut sowohl die technologischen, als auch die didaktischen Methoden.

Im darauf folgenden Kapitel werden anhand der Betrachtung verschiedener Virtueller Welten und multimedialer Lernprogramme einige typische Elemente von Virtuellen Lernwelten herausgearbeitet. Dabei werden die typischen Elemente Virtueller Welten allgemein sowie von Lernwelten im Speziellen betrachtet.

Im Kapitel 5 wird ein Basissystem für Virtuelle Lernwelten vorgestellt, das aus Authoring-/Aufbaukomponenten und Präsentationskomponenten besteht. Im Zentrum dieses Basissystems steht ein modular aufgebauter Lernweltverwalter, welcher als Schnittstelle zwischen dem VR System und den Benutzern fungiert. Ergänzt wird das System durch ein Daten-

haltungssystem für Lernobjektdaten und Lernerdaten.

Das Kapitel 6 behandelt die Möglichkeiten zur Ein- und Mehrbenutzerinteraktion mit einer solchen Lernwelt. Des Weiteren werden verschiedene Interaktionsszenarien und ihre Abbildung auf die Sozialformen des Unterrichts erarbeitet und die Problematik der Gruppeninteraktion in Virtuellen Welten untersucht.

Aus den Anforderungen an Virtuelle Lernwelten und den in Kapitel 6 gewonnen Erkenntnissen zur Interaktion in Lernwelten wird im Kapitel 7 ein universell einsetzbares Interaktionsgerät für Virtuelle Lernwelten entwickelt. Hierzu wird ein Klassifikationsschema für die unterschiedlichen Klassen von Interaktionsgeräten entwickelt und die Eignung dieser Geräteklassen für Virtuelle Lernwelten untersucht. Das entwickelte Gerät vereinigt verschiedene Interaktionsgeräte in einer Oberfläche, lässt sich flexibel an verschiedene Anwendungen und Benutzer anpassen und ist sehr robust.

Im Kapitel 8 wird der Einsatz der in dieser Arbeit erarbeiteten Konzepte anhand einiger Virtueller Lernwelten vorgestellt. Einige dieser Virtuellen Lernwelten wurden über längere Zeit in öffentlichen Ausstellungen getestet und anhand der dort gemachten Erfahrungen weiterentwickelt.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse und einem Ausblick auf weitere Arbeiten.

## 1.7 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit erarbeite ich Konzepte zum Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität zur interaktiven Wissensvermittlung. Betrachtet werden dabei sowohl institutionelle Lernorte (z.B. Schulen, Universitäten oder Institute für Erwachsenenbildung), als auch öffentliche Lernorte (z.B. Ausstellungen, Science Parks oder Museen).

Um zu verstehen, worin sich Virtuelle Lernwelten von anderen Einsatzbereichen für Virtuelle Welten unterscheiden, werden erst die Anforderungen untersucht, die an eine Virtuelle Lernwelt gestellt werden. Die Grundlagen hierbei bilden die technologischen Anforderungen an eine solche Welt. Die Faktoren *Echtzeit Darstellung*, *Immersion* und *Interaktivität* müssen erfüllt sein, um überhaupt von einer Virtuellen Lernwelt im Rahmen der hier verwendeten Definition von Virtueller und Erweiterter Realität sprechen zu können. Das Wohlbefinden der Lerner, d.h. die Vermeidung von Simulatorkrankheit und Phobien auslösenden Situationen, werden als erweiterte technologische Anforderungen betrachtet. Besonders wichtig für den Einsatz der Technologie zur Wissensvermittlung ist eine Untersuchung der didaktischen Anforderungen. Dazu werden die neun „W-Fragen“ der Didaktik (siehe Kapitel 2.2.1) und ihre Relevanz für Virtuelle Lernwelten untersucht. Vertiefend werden unterschiedliche Sichtweisen auf Lernprozesse, der Behaviorismus, der Kognitivismus, der Objektivismus und der Konstruktivismus, und die vier Sozialformen des Unterrichts betrachtet. Aus diesen Untersuchungen werden wichtige Anforderungen an Virtuelle Lernwelten ermittelt werden. Die wichtigsten dieser Anforderungen sind Flexibilität und Interaktivität. Die geforderte Flexibilität erstreckt sich auf fast alle Faktoren der Virtuellen Welt u.a. auf die Integration unterschiedlicher Medien, die Anwendergruppen und die Interaktionsmöglichkeiten. Eine wichtige Voraussetzung für einen Einsatz von Virtuellen Lernwelten ist, dass die Inhalte dieser Lernwelten nicht starr sein dürfen, sondern auch von Laien, wenigstens in einem gewissen Rahmen, veränderbar sein müssen.

Ebenso wie bei den Anforderungen an eine Virtuelle Lernwelt muss auch bei der Wissens-

vermittlung zwischen technologischen und didaktischen Möglichkeiten unterschieden werden. Die Technologien der Virtuellen und Erweiterten Realität bieten vielfältige Möglichkeiten, um Wissen auf unterschiedlichen Wegen zu vermitteln. Durch die Visualisierung von Sachverhalten lassen sich viele Erkenntnisse gewinnen, vor allem, wenn sich durch Animation oder Simulation dieser Visualisierungen auch Abläufe zeigen lassen. Dies kann durch die Interaktion der Lernenden mit diesen Darstellungen noch vertieft werden. Zusätzlich ist es möglich weitere multimediale Informationen in die Virtuelle Lernwelt zu integrieren. In der Didaktik werden viele Methoden eingesetzt, um den Lernern das Verständnis zu vereinfachen. Beispielhaft werden hier die Möglichkeiten Virtueller Welten zur Didaktischen Reduktion und zur Verfremdung von Sachverhalten aufgezeigt. Jeder Lerner bevorzugt zum Lernen unterschiedliche Sinne und Vorgehensweisen. Diesen Lerntypen kann der Lehrende im herkömmlichen Unterricht nur sehr schwer gerecht werden. Die vorher angesprochene Flexibilität Virtueller Lernwelten ermöglicht es, u.a. durch die Integration weiterer Sinne und unterschiedlicher Vorgehensweisen, für mehrere dieser Lerntypen eine ihren Präferenzen entsprechende Lernwelt anbieten zu können.

Um die Entwickler Virtueller Welten aber ebenso auch die Lehrpersonen bei der Erstellung und Veränderung von Virtuellen Lernwelten zu unterstützen, wird ein Konzept eines Autorensystems für Virtuelle Welten erarbeitet. Dabei wird auch auf die Unabhängigkeit dieser Konzepte vom eingesetzten VR oder AR System geachtet, um nicht an bestimmte Systeme gebunden zu sein. Um eine Anpassung bestehender Wissenswelten für Laien ohne Programmierkenntnisse zu vereinfachen, wird zusätzlich ein System zur automatischen Anpassung solcher Verhaltensweisen durch Genetische Algorithmen konzipiert.

Ein bedeutendes Merkmal Virtueller Lernwelten ist die Interaktivität. Um eine Auswahl geeigneter Interaktionsgeräte für eine Lernwelt zu ermöglichen, wird eine Klassifizierung dieser Geräte vorgenommen und ihre Vor- und Nachteile diskutiert. Da Virtuelle Lernwelten von unterschiedlichen Benutzergruppen (von Einzelbenutzern bis Großgruppen) und in verschiedenen Situationen genutzt werden, werden hier mehrere Interaktionsszenarien dargestellt. Diese Interaktionsszenarien werden dann auf die anfangs beschriebenen Sozialformen des Unterrichts abgebildet.

Ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeit ist ein Konzept für ein universelles Interaktionsgerät für Virtuelle Lernwelten. Dieses Interaktionsgerät zeichnet sich durch seine Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Anforderungen und seine Robustheit aus. Durch den Einsatz virtueller Geräte kann die Anzahl der benötigten Interaktionsgeräte auf eines reduziert werden, welches sich aber bei Bedarf mit externen Eingabemöglichkeiten erweitern lässt. Zusätzlich können weitere Ausgabekanäle angeboten werden, die genutzt werden können, um Medien darzustellen, die sonst nur schwer in eine immersive Darstellung integriert werden können.

Das entwickelte Interaktionsgerät bietet sich besonders für den Einsatz zur Gruppeninteraktion an. Durch die reduzierte Anzahl an Geräten und die zusätzlichen Ausgabekanäle können Szenarien entwickelt werden, die mit herkömmlichen Interaktionsgeräten nicht umgesetzt werden können. Nach einer Betrachtung des Gruppenbegriffs und verschiedener Gruppenparameter werden Möglichkeiten zur Aufgabenverteilung innerhalb der Gruppe und Möglichkeiten zur Zugriffskontrolle entwickelt.

Anhand von drei Virtuellen Lernwelten wird gezeigt, wie sich die in dieser Arbeit entwickelten Konzepte in der Praxis umsetzen lassen. Zwei dieser Lernwelten wurden schon mehrfach, im Rahmen von öffentlichen Ausstellungen, von einer Vielzahl von Besuchern benutzt.

### *1.7 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse*

Am Ende dieser Arbeit wird eine Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse präsentiert und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Arbeiten gegeben.



## 2 Anforderungsanalyse

In diesem Kapitel sollen die Anforderungen, die an ein System zur Wissensvermittlung mittels Virtueller Welten gestellt werden, analysiert werden. Zu beachten sind hierbei sowohl die Anforderungen, die die Didaktik und die Methodik an ein solches System stellt, als auch die Voraussetzungen, die von technischer Seite erfüllt sein müssen. Die Betrachtung beschränkt sich auf die technologischen Anforderungen, die diese Grundlagen an eine Virtuelle Lernwelt stellen, die Anforderungen, die spezielle Inhalte an die Präsentation stellen, würden den Rahmen dieser Arbeit sprengen und werden daher nicht betrachtet.

Da hier Virtuelle Lernwelten allgemein und nicht beschränkt auf spezielle Rahmenbedingungen, mit konkreten Lehrinhalten, Lerngruppen, ... untersucht werden sollen, lassen sich viele der Anforderungen auch nur allgemein beschreiben. Betrachtet man eine genau definierte Lehrsituation, so können die Anforderungen stark von den hier aufgestellten abweichen, wobei sich die hier vorgestellten Konzepte auf unterschiedliche Lernwelten übertragen lassen.

### 2.1 Analyse der technologischen Grundlagen

Im Folgenden werden die Anforderungen, welche sich aus der Technologie der Virtuellen Realität ergeben, untersucht. Diese Anforderungen bilden die Grundlage auf der Virtuelle Lernwelten entwickelt werden können.

#### 2.1.1 Anforderungen an Virtuelle Welten

Die technologischen Grundlagen werden sehr stark von der Definition für eine Virtuelle Welt bestimmt. Aus Kapitel 1.3 sind die wichtigsten Merkmale einer Virtuellen Welt (Echtzeitfähigkeit, Interaktivität und Immersion) bereits bekannt (vgl. auch Abbildung 2.1).

Um komplexe dreidimensionale Welten in Echtzeit darstellen zu können, muss das Rendering von der Hardware unterstützt werden. Aus dieser Hardwareunterstützung sowie der Architektur eines Renderingsystems ergeben sich verschiedene Anforderungen, welche beim Aufbau einer Virtuellen Welt beachtet werden müssen. Zu nennen sind hier u.a. die Darstellung von Objekten durch Polygone und die Strukturierung der Daten.

Die Möglichkeit zur Interaktion resultiert aus dieser Echtzeitfähigkeit, da nur so der Rechner auf jede Eingabe des Benutzers reagieren kann. Um den Ablauf der Präsentation interaktiv verändern zu können, benötigt der Benutzer spezielle Interaktionsgeräte. Diese Geräte müssen entsprechend den Voraussetzungen, die der Benutzer mit sich bringt, entworfen sein. Ebenso müssen sie geeignet sein, um die Forderungen nach verschiedenen Sozialformen des Lernens aus Kapitel 2.2 zu erfüllen.

Die Interaktion stellt aber nicht nur Forderungen an die Hardware, sondern auch an die rechnerinterne Repräsentation der Szene. So müssen z.B. die 3D Modelle so strukturiert sein, dass man sie getrennt voneinander manipulieren kann.

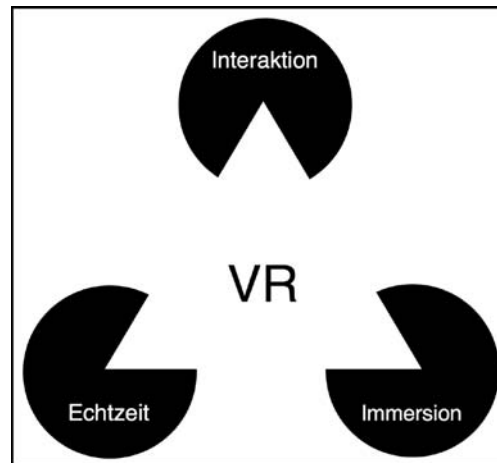


Abbildung 2.1: Die drei Merkmale von Virtueller Realität

Um beim Benutzer ein Gefühl der Immersion zu erzeugen, müssen verschiedene Faktoren beachtet werden. Wichtig sind geeignete Ausgabegeräte, welche das Blickfeld des Benutzers möglichst ausfüllen, wie z.B. Großbildleinwand und CAVE, und mit denen eine stereoskopische Darstellung möglich ist. Der visuelle Eindruck sollte noch durch weitere Kanäle, hier vor allem durch Töne, unterstützt werden. Die Qualität der Darstellung muss an die Anforderungen der Inhalte und des didaktischen Konzepts angepasst sein. Dies muss nicht unbedingt eine photorealistische Darstellung bedeuten, die Virtuelle Welt muss aber soweit mit den Erwartungen des Benutzers übereinstimmen, dass er bereit ist, sich als Teil dieser Welt zu sehen. Für Welten der Erweiterten Realität bedeutet dies wiederum, dass sich die virtuellen Objekte in die reale Welt einfügen müssen, damit sie nicht als Fremdkörper in der Szene erscheinen.

Neben diesen aus der Definition der Technologie entnommenen Anforderungen ergeben sich weitere, welche für den sinnvollen Einsatz in einer Ausbildungsstätte von Bedeutung sind. Als erstes ist hier die Stabilität zu nennen. Unterrichtsunterbrechungen, die durch abgestürzte Hard- oder Software entstehen, können nicht geduldet werden. Auch müssen alle eingesetzten Geräte robust genug sein, um die Benutzung durch viele, ungeübte Benutzer unbeschadet zu überstehen. Dies ist besonders im öffentlichen Bereich, also in Museen und Ausstellungen, zu beachten. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Bedienbarkeit. Sowohl das Bedienen des Systems, d.h. das Starten und Stoppen von Lernwelten, als auch die Bedienung der eigentlichen Welt müssen ohne größere Vorkenntnisse und Übung möglich sein. Vor allem die Interaktion mit der Welt sollte möglichst intuitiv erfolgen können. Weiterhin sind Sicherheitsaspekte zu betrachten. Es darf zu keiner Zeit eine Gefährdung der beteiligten Personen bestehen und Effekte wie die Simulator Krankheit müssen so weit wie möglich reduziert werden.

Eine wichtige Rolle spielen in vielen Bereichen die Kosten. Daher sollte das System so aufgebaut sein, dass die Kosten für Hard- und Software skalierbar sind. Die gleiche Anwendung soll, wenn auch in geringerer Qualität, auch auf einfacherer Hardware funktionieren.



### 2.1.2 Weitere technologische Rahmenbedingungen

Außer den aus der Definition von Virtueller und Erweiterter Realität resultierenden Bedingungen müssen weitere Rahmenbedingungen beachtet werden. Die wichtigsten hiervon betreffen das Wohlbefinden der Lernenden.

Eines der möglichen Probleme, das in Virtuellen Welten auftreten kann und welches bei der Entwicklung Virtueller Lernwelten zu beachten ist, ist die Simulatorkrankheit (*simulator sickness*). Bei einigen Personen können während oder nach längerem Aufenthalt in einer Virtuellen Welt Probleme auftreten, welche sich meist in Schwindelgefühlen, Kopfschmerzen und Desorientierung zeigen. Die Symptome ähneln denen der Kinetose (*motion sickness*), welche auch als Reise- oder Bewegungskrankheit bekannt ist. Die Kinetose wird durch „starke Reizung des Gleichgewichtsorgans (Vestibularapparat) infolge von Einwirkung von Progressiv-, Zentrifugal-, Winkel-, CORIOLIS Beschleunigungen, aber auch durch fehlende Übereinstimmung (Diskordanz) der Erregung des Gesichts- u. Gleichgewichtssinnes und über eine Reizung vegetativer Stammhirnzellen“ hervorgerufen [Sch98]. Im Gegensatz zur Kinetose lässt sich bei der Simulatorkrankheit kein einzelner Faktor für das Auslösen der Probleme isolieren [Jr.00]. In „Simulator Sickness in Virtual Environments“ [Kol95] werden verschiedene Faktoren aufgezeigt, welche für das Auftreten der Simulatorkrankheit verantwortlich sein können. Es wird hierbei unterschieden zwischen Faktoren, die vom Lerner, solche die von den eingesetzten Technologien und solchen die vom Inhalt der Virtuellen Welt abhängen. Im Rahmen dieser Arbeit können nur solche Faktoren betrachtet werden, die von der benutzten Technologie beeinflusst werden, da die anderen Faktoren außerhalb der Einflussmöglichkeiten dieser Arbeit liegen.

Ein weiterer Punkt, welcher bei der Entwicklung Virtueller Lernwelten berücksichtigt werden muss, sind ergonomische Faktoren. In Abhängigkeit von der Zielgruppe lassen sich einige Ein- und Ausgabe Geräte nicht, oder nur eingeschränkt nutzen. Besonders Kinder haben oft Probleme mit Geräten, die für Erwachsene entwickelt wurden, da sie oft zu klein sind, um diese Geräte ergonomisch benutzen zu können [Rou00]. Sollen sich Kinder in Virtuellen Lernwelten bewegen, müssen daher angepasste oder flexibel einsetzbare Geräte, wie z.B. das in Kapitel 7 vorgestellte Interaktionsgerät, verwendet werden. Werden Virtuelle Welten verstärkt auch von Kindern genutzt, so ist aber damit zu rechnen, dass die Industrie auch speziell angepasste Interaktionsgeräte entwickeln wird.

## 2.2 Analyse der didaktischen Grundlagen

Die Didaktik kann ganz allgemein als die Lehre vom Lehren und Lernen begriffen werden. Abhängig von der jeweils zugrundeliegenden wissenschaftstheoretischen Position wurden verschiedene didaktische Modelle entwickelt, die umfassende Theorien zur Analyse und Modellierung von erzieherischem Handeln bereitstellen wollen. Ein Beispiel für ein solches Modell ist die Lerntheoretische Didaktik (Das „Berliner Modell“ nach P. Heimann, G. Otto, W. Schulz [JM02]), mit deren Hilfe die didaktisch-methodische Struktur von Unterricht aufgezeigt werden soll (vgl. Abbildung 2.2).

### 2.2.1 Betrachtung der neun W-Fragen der Didaktik

Geht man von der Feststellung aus, dass sich die Didaktik mit der Theorie und Praxis des Lehrens und Lernens beschäftigt, so ist es nicht verwunderlich, dass die Antworten (vgl.

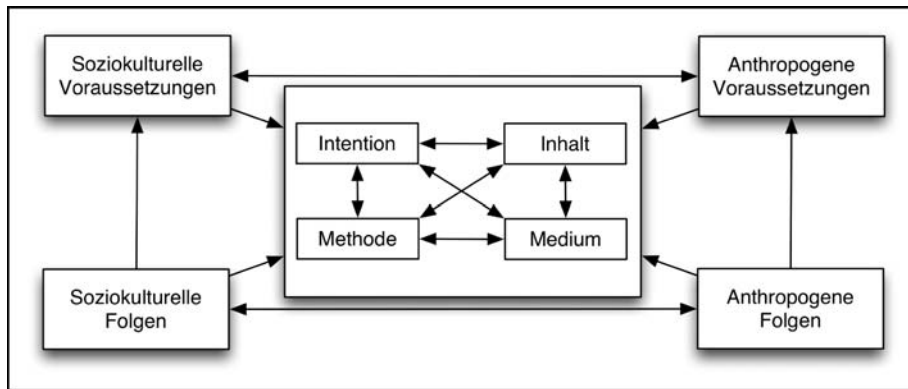


Abbildung 2.2: Das Berliner Modell

Abbildung 2.3) auf folgende neun Fragen den Gegenstand der Didaktik [JM02] bilden:

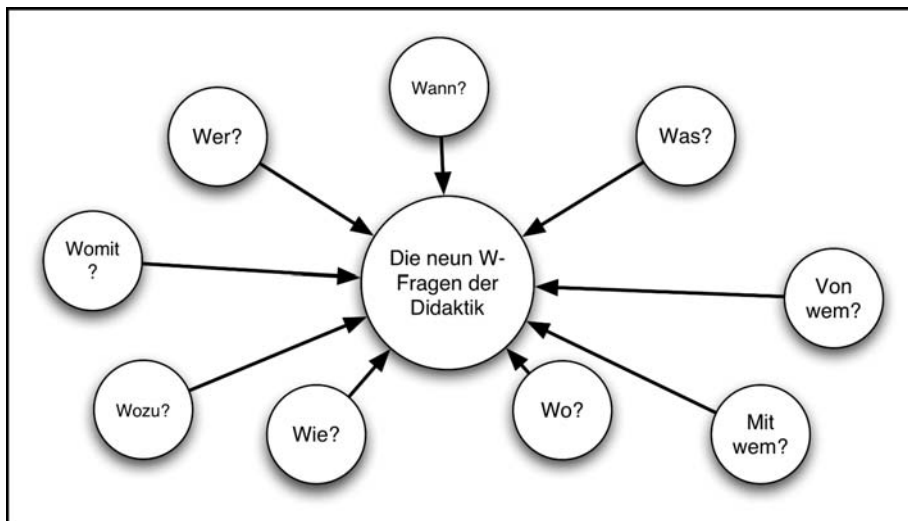


Abbildung 2.3: Die neun W-Fragen der Didaktik

*Wer? Was? Von wem? Wann? Mit wem? Wo? Wie? Womit? Wozu?*

Die Relevanz jeder dieser Fragen für die technologischen Konzepte von Virtuellen Lernwelten wird im Folgenden untersucht, um daraus Anforderungen an Virtuelle Lernwelten zu extrahieren. Dabei wird versucht von einer allgemeinen Beantwortung, d.h. ohne konkrete Rahmenbedingung, auszugehen.

**Wer soll lernen?** Da diese Frage sich hier nicht auf eine spezielle Unterrichtssituation beziehen soll, sondern allgemein behandelt wird, muss die Antwort lauten: „Alle müssen lernen“. Die heutige Gesellschaft fordert eine erhöhte Flexibilität und Mobilität der Menschen. Dies hat einen deutlichen Einfluss auf das Lernen und die Fortbildung. Das Lernen beginnt schon im Säuglingsalter, wird im Schulalter verstärkt und institutionalisiert und betrifft in der heutigen Zeit immer stärker auch Senioren. Vor allem die sich heutzutage ständig und schnell ändernde Technologie verstärkt die-

se Tatsache noch, da ständig neue Sachverhalte gelernt werden müssen, das Lernen also nicht nach der Ausbildung in der Schule, der Universität oder dem Beruf abgeschlossen ist.

Ebenso müssen auch Personen mit unterschiedlichem Vorwissen befähigt sein die Virtuelle Lernwelt zu nutzen. Die benötigten Vorkenntnisse, z.B. für den Umgang mit Interaktionsgeräten, sollten daher möglichst gering sein, um einer breiten Auswahl an Lernenden die Chance zu geben diese Lernwelten zu benutzen.

**Was soll gelernt werden?** Diese Frage ist für diese allgemeine Betrachtung nicht umfassend zu beantworten und eine Beantwortung ist für die Definition von Anforderungen an eine Virtuelle Lernwelt auch nicht nötig. Wichtig ist hierbei, dass es eine große Vielfalt an Lehrinhalten und an Quellen für Lehrstoffe gibt. Diese Vielfalt muss sich auch in großen Teilen auf eine Virtuelle Lernwelt abbilden lassen, d.h. die Virtuelle Welt muss flexibel genug sein, um viele verschiedene Inhalte darstellen und unterschiedliche Quellen abbilden zu können.

Die oben schon erwähnten veränderten Anforderungen der Wissensgesellschaft an das Lernen erfordern auch eine Flexibilität der Lerninhalte. Für Virtuelle Lernwelten bedeutet dies, dass sie ein breites Spektrum an Inhalten abbilden können müssen und das vorhandene Inhalte sich leicht an geänderte Anforderungen anpassen lassen sollten. Virtuelle Lernwelten bieten hier durch ihre Interaktivität und den nicht-linearen Ablauf die Möglichkeit viele verschiedene Inhalte in eine Welt zu integrieren und die Entscheidung über die betrachteten Inhalte während des Unterrichts zu treffen.

Veränderte Rahmenbedingungen, wie z.B. das Vorwissen der Lernenden oder die Gruppenzusammensetzung, können es erfordern die Inhalte vor jedem Einsatz der Virtuellen Lernwelt leicht an die neuen Anforderungen anzupassen. Daher sollten auch für die Lehrenden die Möglichkeit bestehen solche Lerninhalte, zumindest in einem gewissen Rahmen, selbst zu integrieren und zu verändern.

**Von wem soll gelehrt werden?** Die Frage nach der Lehrperson ist für die technologischen Anforderungen nicht erheblich. Der Unterricht und damit auch der Ablauf und die Inhalte einer Virtuellen Lernwelt muss von einer pädagogisch ausgebildeten Person erstellt werden.

Virtuelle Lernwelten müssen so gestaltet sein, dass sie möglichst einfach zu bedienen sind, um nicht zu hohen Anforderungen an die Medienkompetenz des Lehrenden zu stellen. Dies betrifft sowohl das Starten der benötigten Soft- und Hardware als auch die Interaktion mit der Lernwelt selbst.

**Wann soll gelernt werden?** Die Beantwortung dieser Frage ist eine zentrale Frage der Didaktik. Die zeitliche Abfolge der Themen und Lernprozesse spielt sowohl innerhalb einer einzelnen Virtuellen Lernwelt als auch in der Abfolge von verschiedenen Lernwelten eine Rolle, ist aber hauptsächlich inhaltlicher Natur. Betrachtet man die Frage „Wann?“ nicht im Hinblick auf die Reihenfolge der Inhalte, sondern auf das Alter der Lernenden, so ergibt sich die Forderung, dass Virtuelle Lernwelten für alle Altersstufen nutzbar sein sollen.

Die individuelle Beantwortung der Frage kann durch Virtuelle Lernwelten erleichtert werden. Sind die Voraussetzung zur Präsentation von Virtuellen Welten auch im privaten Bereich gegeben, und das sind sie teilweise heute schon, kann der Lernende selbst den Zeitpunkt bestimmen, wann er sich mit dem Lerninhalt beschäftigen will.

**Mit wem soll gelernt werden?** Hier stellt sich die Frage nach der Zusammensetzung der Lerngruppe. Soll der Unterricht in nach Leistung sortierten Gruppen (Hauptschule, Realschule, Gymnasium) erfolgen oder in leistungsheterogenen Gruppen? Benötigt man Jahrgangsklassen oder ist es sinnvoll in altersgemischten Lerngruppen zu arbeiten? Diese Frage stellt wieder Anforderungen an die Flexibilität der Virtuellen Welt, um sowohl homogenen als auch heterogenen Lerngruppen die Arbeit mit dieser Welt zu ermöglichen. Hiermit wird auch die Frage nach der Sozialform des Unterrichts gestellt. Die verschiedenen Sozialformen und ihre Abbildung in Virtuelle Lernwelten werden im Kapitel 2.2.3 genauer behandelt.

**Wo soll gelernt werden?** Die wichtigsten Lernorte sind sicher die institutionellen Lernorte, wie z.B. die Schulen oder Universitäten. Institutionelle Lernorte bieten den Vorteil sehr genau definierte Rahmenbedingungen zu bieten. Es sind spezielle Räume, Lehrmittel und ausgebildete Personen vorhanden, um möglichst optimale Ausbildungsbedingungen zu garantieren. Diese Institutionen haben teilweise die Möglichkeiten und die Mittel, um grosse und aufwändige VR Installationen sinnvoll zu betreiben. Trotzdem steht auch hier oft die Kostenfrage für die Beschaffung, und noch stärker für die Unterhaltung und die Weiterentwicklung solcher Virtuellen Welten im Vordergrund. Noch stärker beachtet werden müssen diese Fragen bei Lehrstätten, die nicht von staatlichen oder industriellen Mitteln unterstützt werden, so z.B. beim Lernen zu Hause. Daraus ergeben sich Anforderungen an die Kosten der eingesetzten Hard- und Software. Hierbei sollten die Kosten skalierbar sein, so dass Lernwelten, wenn auch in unterschiedlicher Qualität, in verschiedenen Institutionen eingesetzt werden können. Eine wichtige Möglichkeit zur Kostendämmung ist das Verwenden von vorhandener Hardware, d.h. es sollte soweit wie möglich vermieden werden, spezielle, nur für Virtuelle Welten einsetzbare Geräte zu verwenden. Hier entsteht auch die Forderung nach der Mobilität der Virtuellen Welt. Eine Virtuelle Lernwelt sollte in verschiedenen Räumen nutzbar sein und die dort vorhandenen technischen Voraussetzungen optimal ausnutzen. Ebenso gibt es Bereiche, wo nicht der Inhalt, d.h. die Software, sondern die komplette virtuelle Welt, also Hard- und Software, mobil sein muss. Zu nennen ist hier beispielsweise der Einsatz von Virtuellen Lernwelten bei Exkursionen. Hierzu bieten sich die Technologien der Erweiterten Realität an, da die meisten Entwicklungen in diesem Bereich auf mobile Anwendungen zielen.

**Wie soll gelernt werden?** Diese Frage betrifft die eingesetzten Lehr/Lern- oder Unterrichtsmethoden. Virtuelle Lernwelten können viele der bekannten Methoden abbilden, wie z.B. Rollen- oder Planspiele, oder sie können dazu genutzt werden neue Methoden zu entwickeln. Besonders die von Jank und Meyer [JM02] erwähnte neu zu entwickelnde Methoden- und Unterrichtskultur, welche den Schülern stärker als bisher die Möglichkeit zur selbständigen Arbeit gibt, ließe sich durch entsprechende Virtuelle Welten zumindest teilweise abdecken.

**Womit soll gelernt werden?** Diese Frage beschäftigt sich mit der Auswahl der Medien, die für den Unterricht benutzt werden. Die Auswahl der eingesetzten Medien hängt stark vom Unterrichtsstoff, dem Vorwissen, der Zusammensetzung der Lerngruppe und den technologischen Möglichkeiten ab. Virtuelle Lernwelten können hier sowohl als eigenständiges, neues Medium als auch als Möglichkeit unterschiedliche Medien

in eine Anwendung zu integrieren gesehen werden. Da in den seltensten Fällen ein Unterrichtsthema nur mit Hilfe eines einzigen Mediums behandelt wird, ist es wichtig die Nutzung verschiedener Medien auch in der Virtuellen Welt zu ermöglichen.

**Wozu soll gelernt werden?** Diese Frage hat direkt keine weiteren Auswirkungen auf die technologischen Anforderungen an eine Virtuelle Lernwelt und soll daher nicht weiter untersucht werden. Anforderungen an eine Virtuelle Lernwelt können entstehen, wenn die Frage das Verständnis von Virtueller oder Erweiterter Realität in den Mittelpunkt stellt, die Technologie selbst also Lerngegenstand wird. Eine Möglichkeit, um diese Technologie zu begreifen ist den Schülern die Aufgabe zu stellen eine eigene Virtuelle Welt zu entwickeln. Diese Aufgabe stellt sehr hohe Anforderungen an die eingesetzten Werkzeuge, vor allem an das Autorensystem und an die Kenntnisse des Lehrenden.

Die Betrachtung der neun W-Fragen der Didaktik hat als wichtigste Anforderung an Virtuelle Lernwelten die Flexibilität ergeben. Virtuelle Lernwelten müssen u.a. flexibel in Bezug auf das Alter und die Vorkenntnisse der Lernenden, die zu präsentierenden Inhalte und die abzubildenden Sozialformen sein. Des Weiteren muss eine Interaktion mit der Lernwelt einfach zu verstehen und die dafür eingesetzten Geräte auch von Kindern und Senioren bedienbar sein.

### 2.2.2 Betrachtung der unterschiedlichen Sichtweisen auf Lernprozesse

Aus unterschiedlichen Betrachtungsweisen von Lernprozessen haben sich unterschiedliche didaktische Strömungen entwickelt [Rie02]. Genannt seien hier der Behaviorismus, der Objektivismus, der Kognitivismus und der Konstruktivismus.

**Behaviorismus:** Die behavioristische Lerntheorie (vgl. Abbildung 2.4) geht von der Annahme aus, dass das Lernen bei Tier und Mensch der gleichen universellen Gesetzmäßigkeit von Reiz und Reaktion gehorcht, und dass Verhalten lediglich in einer Anpassung an die Umwelt besteht. Die zwischen Reiz und Reaktion ablaufenden inneren Lernprozesse werden als Black Box betrachtet (vgl. Abbildung 2.5). Umgesetzt

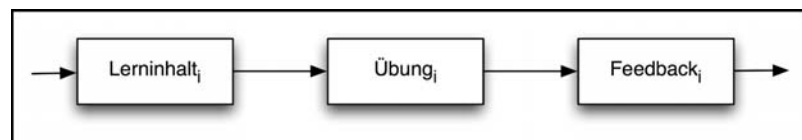


Abbildung 2.4: Behavioristische Lernstrategie

wurde diese Lerntheorie u.a. im Programmierten Unterricht, den Burrhus Frederic Skinner, aufbauend auf die von ihm entwickelte Operante Konditionierung (Lernen durch Verstärkung/Belohnung), einführte. Der Programmierte Unterricht kann als methodische Grundlage der ersten rechnergestützten Lernprogramme angesehen werden. Kennzeichnend für dieses Konzept ist die sofortige positive Verstärkung zur Erhöhung von Motivation und Behaltensleistung. Das Lernziel wird hierbei in viele kleine Lernschritte unterteilt.

**Objektivismus:** Der Objektivismus gehen davon aus, dass sich Wissen durch Experten festlegen und an den Lernenden vermitteln lässt. Alles Wissen kommt von außen

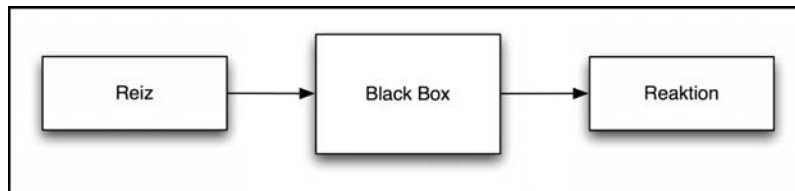


Abbildung 2.5: Reiz-Reaktions Schema

und wird vom Lernenden aufgenommen. „Lernen ist dabei ein linearer, systematischer, deterministischer und rezeptiver Prozess, bei dem klar strukturierte statische Lerninhalte von den Lehrenden möglichst gut vermittelt und präsentiert werden“ [Rie02]. Für Virtuelle Lernwelten heißt dies, dass die Lernwelt als Medium dient, um dem Lernenden Wissen zu veranschaulichen und ihm das Aufnehmen des Wissens ermöglicht.

**Kognitivismus:** Im Gegensatz zum Behaviorismus fasst die kognitive Psychologie Lernen nicht als einfaches Reiz-Reaktions Schema auf, sondern betrachtet es als einen im Inneren ablaufenden, aktiven Prozess der Informationsverarbeitung. Dabei bedeutet Lernen nicht die reine Anhäufung von Wissen, sondern wird als ein Ein- bzw. Umordnen der Informationen in interne, kognitive Strukturen verstanden.

Assimilation bedeutet dabei die Einordnung erstmalig gemachter Erfahrungen in

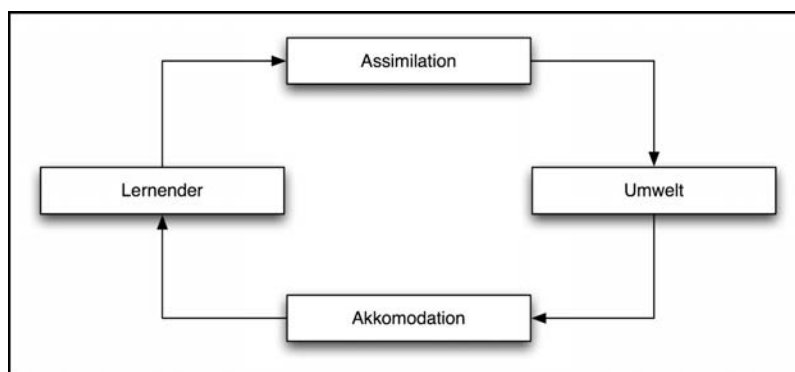


Abbildung 2.6: Adaptionsprozess

vorhandene Schemata, während mit Akkomodation die Modifikation der existierenden Schemata gemeint ist, die nötig wird sobald gemachte Erfahrungen sich nicht in die Schemata einpassen lassen.

Ein Beispiel für eine kognitivistische Lehrmethode ist das entdeckende Lernen, bei dem sich die Lernenden, die für einen Sachverhalt benötigten Informationen, aus eigenem Interesse heraus, selbst erarbeiten müssen. Durch Interaktivität und Immersion bieten Virtuelle Welten gute Voraussetzungen, um diese Methode zu unterstützen.

**Konstruktivismus:** Im Gegensatz zur kognitiven Psychologie, die von einer objektiv gegebenen Welt ausgeht, welche eine eindeutige Repräsentation im Gehirn besitzt, vertritt der Konstruktivismus die Ansicht, dass es kein objektives Wissen über die Welt gibt, sondern nur subjektive Konstruktionen der Wirklichkeit. Das Gehirn wird als

geschlossenes, sich selbst organisierendes System betrachtet, welches über die Wahrnehmung lediglich Energie, aber keine Informationen austauscht. Daher kann Wissen nicht transportiert werden, sondern Wissen muss vom Lerner aktiv konstruiert werden. Der Lehrende ist dazu da diese Selbstkonstruktion zu unterstützen, indem er, ebenso wie die Mitlernenden, Lernprozesse anregt. Für den Konstruktivismus ist Lernen *„ein nicht-linearer, multidimensionaler und nicht deterministischer Prozess, bei dem komplexe dynamische Lerninhalte von den Lernenden aktiv in ihre eigenen Wissens- und Handlungsstrukturen integriert werden“* [Rie02]. Die Aufgabe von Virtuellen Lernwelten im konstruktivistischen Lernprozess ist es dem Lerner eine Lernumgebung, oder zumindest einen Teil davon, zu bieten, in der er sich das zu erarbeitende Wissen konstruieren kann.

In folgender Gegenüberstellung, die an eine von Schröder und Wankelmann[SW02] für Lernsoftware entwickelte Darstellung angelehnt ist, lassen sich die konzeptionellen Unterschiede vergleichen:

<b>Objektivistische Lernwelten</b>	<b>Konstruktivistische Lernwelten</b>
Haben Dozentenfunktion	Bieten authentische Lern- und Problemsituationen
Präsentieren Informationen, die die Lernenden aufnehmen	Präsentieren Handlungsaufträge, die die Lernenden selbständig durchdenken und erarbeiten
Erklären Sachverhalte und Zusammenhänge vorweg	Bieten den Lernenden die Möglichkeit Informationen zu beschaffen sobald sie diese zur Lösung der Aufgabe benötigen
Stellen nach der Erklärung des Lösungsweges Übungsaufgaben, um das Wissen anzuwenden	Stellen Handlungsaufgaben vor, für die die Lernenden Lösungswege suchen müssen

Um die konstruktivistische Sichtweise in einer Virtuellen Lernwelt umsetzen zu können, muss diese Lernwelt dem Lernenden eine möglichst realistische Simulation realer Handlungsaufgaben anbieten, ohne ihn in der Wahl des Lösungsweges einzuschränken. Wird ein großer Teil oder gar die komplette Lernumgebung in die Virtuelle Welt integriert, so müssen Möglichkeiten zur Informationsbeschaffung in diese Welt geboten werden, um den Lerner bei der Lösung der Aufgabe zu unterstützen. Da konstruktivistische Ansätze davon ausgehen, dass Lernen ein sozialer Prozess ist, bei dem Lerner von den Lösungen der Mitlernenden profitieren, müssen auch die Virtuellen Lernwelten diese Teamarbeit unterstützen.

### 2.2.3 Betrachtung der Sozialformen des Unterrichts

Besonders die institutionelle Wissensvermittlung unterscheidet zwischen den unterschiedlichen Sozialformen des Unterrichts. Der Einsatz von bestimmten Sozialformen hängt von verschiedenen Faktoren ab, u.a. vom zu bearbeitenden Lernstoff, der Gruppenzusammensetzung oder den eingesetzten Handlungsmustern. Es existieren genau vier Sozialformen des Unterrichts [JM02]:

- **der Frontalunterricht** (Klassen- oder Plenumsunterricht)

- **der Gruppenunterricht** (Gruppen- oder Teamarbeit)
- **die Partnerarbeit** (Tandemunterricht)
- **die Einzelarbeit** (Stillarbeit)

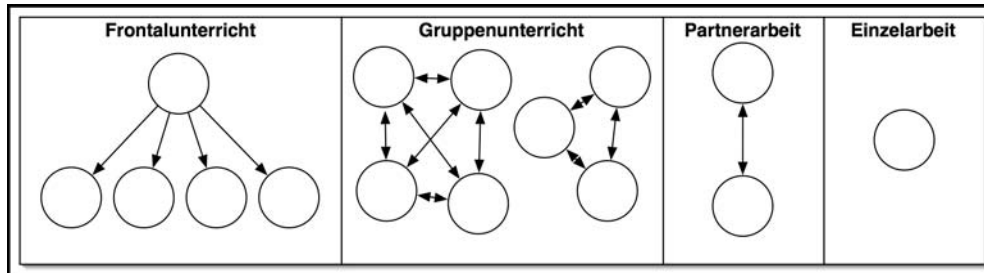


Abbildung 2.7: Die Sozialformen des Unterrichts

Versucht man solche Sozialformen in einer Virtuellen Lernwelt nachzubilden, stellt dies verschiedene Anforderungen an die Interaktions- und Kommunikationsmöglichkeiten in dieser Welt. Neben den, in dem Bereich der Virtuellen Realität normalerweise eingesetzten Interaktionsmöglichkeit für eine Person oder der Erweiterung auf mehrere Personen durch verteilte Welten, werden weitere Interaktionsformen für Gruppen benötigt.

### 2.3 Zusammenfassung

Aus den hier erarbeiteten Grundlagen lassen sich einige allgemeine Anforderungen an Virtuelle Lernwelten definieren. Durch die Breite der möglichen Anwendungen und des Zielpublikums wird sich die Bedeutung der einzelnen Anforderungen von Lernwelt zu Lernwelt unterscheiden und es können neue Anforderungen hinzu kommen.

Als Grundvoraussetzungen sind natürlich die Anforderungen, die sich aus der Definition von Virtueller und Erweiterter Realität ergeben, zu nennen. Sie müssen erfüllt sein, damit man überhaupt von einer Virtuellen Lernwelt sprechen kann.

Eine der wichtigsten Anforderungen, die sich an ein VR oder AR System für Virtuelle Lernwelten stellen lässt, ist Flexibilität. Diese Flexibilität muss sich auf viele Bereiche erstrecken, darunter auf die benötigten Technologien (Simulation, Künstliche Intelligenz, Volumenrendering, ...), die in diese Welt integrierten Medien (Audio, Texte, Bilder, Zeichnungen, ...) und die Anwendergruppe (Kinder, Jugendliche, Senioren, Anwender mit und ohne Vorkenntnisse, ...). Für die Interaktion bedeutet dies, dass die Interaktionsgeräte für verschiedene Altersgruppen geeignet sein müssen und auch ohne, oder mit nur geringen Vorkenntnissen bedienbar sein sollen. Es werden Interaktionsgeräte und -methoden benötigt, welche es ermöglichen die verschiedenen Sozialformen des Unterrichts abzubilden. Hierbei sind vor allem die Interaktionsmöglichkeiten für Gruppen zu beachten.

Das System muss eine einfache Erstellung, oder zumindest eine einfache Anpassung, der Welt ermöglichen. Nur so können die Lehrenden an der Auswahl der Lerninhalte beteiligt werden. Ebenso ermöglicht das Editieren der Lernwelt dem Lehrenden eine Anpassung dieser Welt an seine Bedürfnisse, d.h. an seinen Lehrstil, die Vorkenntnisse und Lernstile seiner Schüler und andere Rahmenbedingungen. Ein Autorensystem, das es ermöglicht



Lernwelten selbst zu entwickeln, ermöglicht es auch Lernenden eine eigene Lernwelt zu erschaffen oder vorhandene Welten zu modifizieren. Dies kann z.B. als Handlungsprodukt im Handlungsorientierten Unterricht dienen.

Um einen sinnvollen Einsatz in der Bildung zu ermöglichen, müssen solche Lernwelten ohne großen Aufwand einsetzbar sein, d.h. alle Teile des Systems müssen einfach bedienbar sein und stabil funktionieren. Hier ist ein besonderes Augenmerk auf die Interaktion zu setzen, da sie die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine bildet.

Um das Auftreten von Simulatorkrankheit und Probleme mit Phobien zu minimieren, müssen Virtuelle Lernwelten so aufgebaut sein, dass mögliche Auslöser für solche Effekte reduziert werden. Aus technologischer Sicht sind hier vor allem die Qualität der Ein- und Ausgabegeräte zu nennen. Hohe Bildwiederholfrquenzen, geringe Latenzzeiten bei kritischen Signalen, exakte Kalibrierung der Geräte und möglichst angepasste und synchronisierte Ausgabekanäle sind hierbei zu nennen.



## 3 Wissensvermittlung in Virtuellen Welten

Virtuelle Lernwelten bieten vielfältige Möglichkeiten zur Wissensvermittlung. Sachverhalte lassen sich, je nach Bedarf, sowohl sehr realistisch, als auch abstrakt oder vereinfacht darstellen. Objekte und Sachverhalte, die in der Realität nicht oder nur unter Schwierigkeiten betrachtet werden können, lassen sich ebenso präsentieren wie abstrakte oder nicht sichtbare Phänomene. Mittels Erweiterter Realität lassen sich solche Darstellungen mit realen Objekten verknüpfen und somit neue Einsichten erreichen. Auch die Auswahl an Medien zur Repräsentation von Wissensinhalten, die sich in Virtuelle Lernwelten integrieren lassen, ist sehr groß. Durch die Integration verschiedener Darstellungsweisen, Lehrmethoden und Medien zur Darstellung von Wissensinhalten kann auf die unterschiedlichen Lerntypen eingegangen (vgl. Kapitel 3.4) und jedem eine geeignete Lernwelt angeboten werden.

Im Gegensatz zu anderen, in der Wissensvermittlung oft eingesetzten Medien wie z.B. Filme, sind diese Medien nicht linear und bieten dem Lernenden vielfältige Möglichkeiten sich den Lernstoff selbst zu erarbeiten. Interaktivität fördert die aktive Mitarbeit und ermöglicht erforschendes Lernen. Durch die immersive Darstellung Virtueller Welten fühlen sich die Lerner als ein Teil der Lernwelt und die gemachten Erfahrungen sind demzufolge viel intensiver als bei zweidimensionalen Medien.

### 3.1 Untersuchung der verschiedenen Lernweltypen

Virtuelle Lernwelten lassen sich in verschiedene Typen einteilen. Diese Typen unterscheiden sich in ihren technologischen Anforderungen und den eingesetzten didaktischen Methoden.

#### 3.1.1 Trainingswelten

Der älteste und zugleich auch bekannteste Typus von virtuellen Lernwelten sind Trainingswelten, welche hauptsächlich der Vermittlung psychomotorischer Lernziele dienen. Eine Vermittlung konzeptuellen Wissens ist normalerweise nicht das Ziel dieses Typs von Lernwelten.

Als Beispiele können hier Flug- und Fahrsimulatoren genannt werden. Der Nutzen und die Effektivität solcher Lernwelten hat sich mittlerweile hinreichend gezeigt. Eingesetzt werden Trainingswelten meist zum Erlernen komplexer Handlungsabläufe. Wichtig bei dieser Art von Lernwelten ist eine möglichst korrekte Repräsentation der zu übenden Handlung und die Möglichkeit einer exakten Kontrolle der Lernsituation. Da dieser Lernweltyp vorwiegend zum Training von Tätigkeiten genutzt werden, setzt man hierbei die für diese Tätigkeit benötigten realen Eingabegeräte zur Interaktion mit der Virtuellen Welt ein.

#### 3.1.2 Konstruktionswelten

Konstruktionswelten beschreiten einen gänzlich anderen Weg, um Wissen zu vermitteln als andere Virtuelle Lernwelten. Anstatt das zu vermittelnde Wissen als Inhalt in eine Virtuelle Welt zu integrieren und die Wissensvermittlung durch die Interaktion der Benutzer mit dieser Welt zu realisieren, erfolgt die Wissensvermittlung bei Konstruktionswelten durch das Erstellen der Virtuellen Welt selbst. Um eine überzeugende Virtuelle Welt zu erschaffen, muss der Autor die Inhalte und die wichtigen Gesetzmäßigkeiten des darzustellenden Themas sehr genau kennen. Erst wenn der Autor selbst die Inhalte verstanden hat, kann er beginnen diese als Virtuelle Welt umzusetzen. Ein Beispiel für eine Konstruktionswelt ist das „Virtual Gorilla Modeling Project“, bei dem die Lerner in verschiedenen Teams einen virtuellen Gorilla in Aussehen und Verhalten erstellten [HCB].

#### 3.1.3 Explorationswelten

Ähnlich wie in architektonischen Walk-Through Anwendungen ermöglichen Explorationswelten ein freies Durchwandern von visualisierten Informationen. Diese Informationen können reale Objekte, wie z.B. die Rekonstruktion von zerstörten Kulturgütern, oder auch visuelle Repräsentationen abstrakter Daten sein, wie z.B. Windgeschwindigkeiten bei der Visualisierung meteorologischer Daten [Sch97]. Der Lerner kann selbst entscheiden, welche Objekte er in welchem Tempo und aus welcher Perspektive betrachtet. Hierbei sind auch Perspektiven denkbar, die in der realen Welt nicht möglich wären, z.B. das Erleben eines Fallversuchs aus der Perspektive des fallenden Gegenstandes.

Die Gelegenheit Sachverhalte in multiplen Kontexten und unter multiplen Perspektiven zu betrachten, wird seitens des Konstruktivismus für den Erwerb flexibel anwendbaren Wissens und somit für vernetztes Denken allgemein als wesentlich erachtet. Durch die bildliche Darstellung können Spezifika von Gegenständen gezeigt werden, um somit die Entwicklung deutlicher bildhafter Vorstellung zu fördern.

#### 3.1.4 Experimentalwelten

Die letzte Gruppe virtueller Lernwelten sind die Experimentalwelten, die es durch integrierte Simulationen ermöglichen die Virtuelle Welt zum Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen zu nutzen. Die Ergebnisse der Simulation werden hierbei anschaulich visualisiert und Änderungen in der Simulation, z.B. bei der Veränderung von Simulationsparametern durch den Benutzer, haben sofortige Auswirkungen auf die Virtuelle Welt. Auf diese Art und Weise soll der Lernende mit Hilfe der visuellen Repräsentation im Sinne des entdeckenden Lernens ein Verständnis des Ursache-Wirkungs-Verhältnisses bei dynamischen Vorgängen erlangen und ein adäquates mentales Modell entwickeln. Die Bildung mentaler Modelle kann auf verschiedene Arten geschehen, z.B. durch Analogiebildung (Übertragung eines Modells von einem Gegenstandsbereich auf einen anderen) oder durch Schemaartikulation (Anwenden eines abstrakten Schemas auf einen speziellen Sachverhalt).

In Experimentalwelten steht das Handeln des Lerners im Vordergrund. Seine Aktionen beeinflussen den Ablauf der Präsentation und ermöglichen es ihm so, sich durch Versuch und Irrtum dem zu lösenden Problem zu nähern.

### 3.2 Technologische Möglichkeiten zur Wissensvermittlung in Virtuellen Welten

Die Technologien der Virtuellen und Erweiterten Realität bieten vielfältige Möglichkeiten Wissen zu vermitteln und den Lernenden auf interessante Art und Weise näher zu bringen. Im Folgenden werden diese Möglichkeiten, die die Technologien bieten, näher erläutert.

#### 3.2.1 Visuelle Repräsentation

Der visuelle Sinn ist der Hauptsinn des Menschen. Er nimmt den größten Teil der Informationen seiner Umwelt über den Gesichtssinn auf. Virtuelle Welten nutzen diese Tatsache, indem sie dem Benutzer hauptsächlich eine visuelle Repräsentation eines Szenarios präsentieren, welches auf die Aktionen des Anwenders reagiert. Diese visuelle Darstellung kann durch die Integration weiterer Sinne noch intensiviert werden, reicht aber meist schon alleine aus, um bei den Betrachtern das Gefühl zu erzeugen, sich in einer realen Umgebung zu bewegen.

Die visuelle Darstellung der Szene kann in einer virtuellen Lernwelt als Rahmen zur ei-

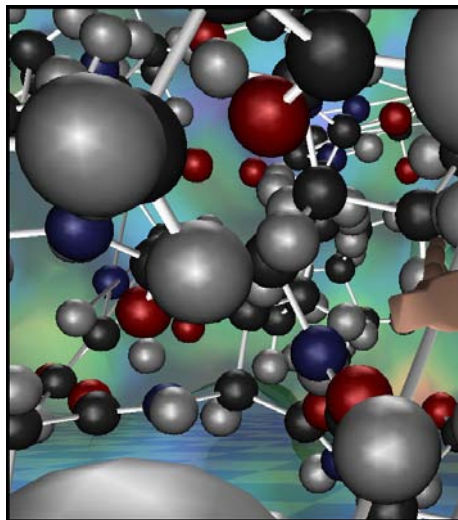


Abbildung 3.1: Visualisierung von Molekülen mittels Virtueller Realität

gentlichen Wissensvermittlung dienen oder den eigentlichen Inhalt darstellen. In vielen Fällen können alleine durch eine geeignete Darstellung von realen oder fiktiven, sichtbaren oder nicht sichtbaren Objekten neue Erkenntnisse vermittelt werden. Die Visualisierung von elektromagnetischen Kräften, das Besuchen von lange zerstörten historischen Bauten oder ein Flug in ein Molekül ermöglichen (vgl. Abbildung 3.1) es, komplexe Sachverhalte anschaulich zu machen. In einigen Fällen kann die dreidimensionale Darstellung der Szene aber auch nur als ein Raum für die eigentliche Wissensvermittlung dienen. Als Beispiel für eine solche Lernwelt, in der das Szenario den Lernprozess fördern kann, aber nur sehr wenig zur eigentlichen Wissensvermittlung beiträgt, ist das Sprachenlernen zu erwähnen. Da der Lerninhalt die Sprache ist, kann die Virtuelle Welt an dieser Stelle unterstützend wirken, indem sie einen Ort für dieses Lernen oder das Anwenden der Sprache bildet. Dieser virtuelle Ort kann den Lerninhalt unterstützen, wie z.B. das virtuelle Abbild eine

Geschäfts, um Verkaufsgespräche zu lernen, oder als Versammlungsort dienen, z.B. eine virtuelle Bar als Treffpunkt mit Personen, die diese Sprache als Muttersprache sprechen. Vor allem verteilte Virtuelle Welten eignen sich als Treffpunkte für Lernende, die räumlich voneinander getrennt sind.

Meist wird man eine Mischung zwischen beiden Situationen erhalten. Bei der Präsentation „Der Virtuelle Dom von Siena“ (siehe Kapitel 8.2) ist das virtuelle Abbild des Doms der Lerngegenstand, welcher durch Virtuelle Realität realistisch dargestellt und erlebbar wird. Ergänzt wird die visuelle Darstellung durch textuelle Erläuterungen eines virtuellen Reiseführers über die Architektur, Geschichte und Kunst des Doms. Auch bei der Augmented Reality Präsentation „ARCHEOGUIDE“ (siehe Kapitel 8.3) dienen die virtuellen Modelle der Tempel und Wettkämpfer als Informationsträger.

Die Virtuelle Welt ermöglicht somit das Betrachten und Beobachten von Objekten und Vorgängen. Je nach Bedarf können die Objekte dabei nahezu photorealistisch oder auch sehr abstrakt dargestellt werden. Der Lerner kann durch den Einsatz dieser Technologien Sichtweisen auf Objekte erhalten, die ihm sonst nicht möglich wären. Auch ohne Interaktionsmöglichkeit bietet die visuelle Darstellung oft schon ein großes Potential zur Wissensvermittlung [Lut02], aber Gespräche mit Lehrpersonen haben gezeigt, dass für den Einsatz solcher Visualisierungen zu Lehrzwecken wenigstens eingeschränkte Interaktionsmöglichkeiten vorhanden sein sollten.

#### 3.2.2 Darstellung von Abläufen

In vielen Fällen reicht eine einfache Darstellung von statischen Objekten nicht aus, um den Lerninhalt zu transportieren. Oft werden animierte Objekte benötigt, um Sachverhalte auf einfache Art und Weise zu erläutern (vgl. Abbildung 3.2). Oft sind gerade die Bewegungen ein Teil des Lerninhalts, wie es z.B. in vielen physikalischen Themenbereichen der Fall ist. Dabei lassen sich vom Lernenden Abläufe und Zusammenhänge beobachten und erfassen. Auch wenn bewegte Objekte in einer Virtuellen Lernwelt nicht zur Wissensvermittlung beitragen, so können sie doch helfen die Lernwelt interessanter und lebendiger zu gestalten, dem Lerner Hilfen bieten oder seine Aufmerksamkeit auf gewisse Sachverhalte lenken.

Durch die Tatsache, dass die Bewegung von Objekten in Virtuellen Welten nicht im vorn-



Abbildung 3.2: Darstellung eines antiken Laufwettkampfs mittels Erweiterter Realität

herein festgelegt sein muss, sondern während der Laufzeit interaktiv verändert werden

kann, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten zur Wissensvermittlung. So ermöglicht ein Spielen mit den Parametern eines physikalischen Versuchs, auch auf Werte die in der Realität nicht möglich sind, ein experimentelles Lernen und bringt neue Einsichten mit sich.

#### 3.2.3 Integration multimedialer Inhalte

Virtuelle Welten ermöglichen es, viele unterschiedliche Medien in ein Szenario zu integrieren und somit Wissensinhalte mit Hilfe verschiedener Mittel zu präsentieren (vgl. Abbildung 3.3). Der Einsatz verschiedener Medien kann zur Wissensvermittlung nötig sein, z.B. um Sachverhalte durch als Audio eingespielte Erklärungen zu verdeutlichen. Durch



Abbildung 3.3: Integrations von Photographien in eine VR Präsentation

die Repräsentation gleicher Wissensinhalte durch verschiedene Medien kann aber auch eine Unterstützung der verschiedenen Lerntypen erreicht werden. Durch die Integration verschiedener Medien in eine Anwendung ermöglichen Virtuelle und Erweiterte Realität, ebenso wie Multimedia, eine einfache Ansprache des Lernenden durch den Lehrenden auf unterschiedlichen Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits-, und Rezeptionsebenen [Ses00]. Schwierigkeiten bei der Präsentation von unterschiedlichen Medien können sich durch technologische Probleme ergeben. Die Auflösung der meisten Head-Mounted-Displays reicht z.B. nicht aus um Texte lesbar darzustellen oder um Details in Diagrammen zu erkennen.

Als wichtigstes Medium ist hier Audio zu nennen. Nach dem visuellen ist der auditive Sinn die wichtigste Informationsquelle des Menschen.

#### 3.2.4 Interaktion mit der Lernwelt

Die Interaktion mit der präsentierten Welt ist eine der wichtigsten Möglichkeiten zur Wissensvermittlung in Virtuellen Lernwelten. Denn anders als bei einem Film oder bei einem vom Lehrer vorgeführten Experiment ist der Lernende nicht nur Zuschauer, sondern selbst Akteur in dieser Welt. Er kann den Ablauf aktiv beeinflussen und die Auswirkungen seines Handelns beobachten (vgl. Abbildung 3.4). Ist die Virtuelle Lernwelt für Gruppeninteraktion ausgelegt, wie dies z.B. bei Verteilten Virtuellen Welten der Fall ist, so verteilt sich

die Interaktion auf mehrere Personen, die Zusammenarbeiten müssen, um ihr Ziel zu erreichen, so dass auch die soziale Komponente des Unterrichts angesprochen werden kann.



Abbildung 3.4: Interaktive Erforschung der Höhlen von Dunhuang

### 3.3 Methodische Möglichkeiten zur Wissensvermittlung in Virtuellen Welten

Die Darstellung der „Welt“ in einer Virtuellen Umgebung muss nicht mit der realen Umgebung, die der Lerner kennt, übereinstimmen. Virtuelle Welten ermöglichen es sowohl reale als auch verfremdete oder vereinfachte Szenarien darzustellen. Diese Darstellungsweise ermöglicht es verschiedene didaktische und methodische Vorgehensweisen nachzubilden oder auch neue Vorgehensweisen zu kreieren. Im Rahmen dieser Arbeit können die mit Virtueller und Erweiterter Realität möglichen pädagogischen Konzepte nur beispielhaft aufgezeigt werden.

#### 3.3.1 Reduktion

Virtuelle Welten ermöglichen es komplexe Sachverhalte durch die Reduktion auf die wichtigen Inhalte verständlicher zu machen. So werden z.B. die behandelten Gesetzmäßigkeiten bei einem real durchgeführten physikalischen Versuch oft von anderen Phänomenen überlagert, was die Beobachtung und das Verstehen des Effekts durch die Lernenden erschwert. In der simulierten virtuellen Welt ist es möglich solche störenden oder überlagernden Effekte bei der Simulation zu ignorieren und damit die Konzentration auf das zu behandelnde Thema zu beschränken. Der Einfluss verschiedener Effekte auf den Gesamtzusammenhang lässt sich durch das Aktivieren oder Deaktivieren dieser Effekte in der Simulation aufzeigen.

#### 3.3.2 Verfremdung

Das Betrachten von gewohnten Szenen aus anderen Blickwinkeln ermöglicht oft das Verstehen von Zusammenhängen. Virtuelle Welten bieten hier eine große Vielfalt an Möglichkeiten für den Benutzer, neue Perspektiven einzunehmen und bekannte Abläufe zu ver-



ändern. Durch die einfache Skalierung der Größe des virtuellen Körpers lässt sich z.B. erreichen, dass die Benutzer auf die Größe eines Kindes schrumpfen oder zu einem Riesen werden. Schon diese einfache Veränderung der normalen Erfahrung ermöglicht es die Welt aus einem andern Blickwinkel zu sehen und somit neue Erfahrungen zu machen.

#### 3.3.3 Rollenspiel

In Verteilten Virtuellen Welten werden die einzelnen Benutzer in der Welt meist als Avatar dargestellt. Diese Avatare lassen normalerweise keine direkten Rückschlüsse auf die Person, die sie steuert, zu. Somit eignet sich diese Darstellung sehr gut für die Umsetzung eines Rollenspiels. Die Avatare dienen den Benutzern als Maske und ermöglichen somit ein freies Rollenspiel. Auch der Lehrende kann sich hinter einem Avatar verstecken und die Aktionen der Lernenden beobachten oder unauffällig beeinflussen.

### 3.4 Beachtung der unterschiedlichen Lerntypen

Wie in Kapitel 1.1 gefordert, sollen für ein effektives Lernen die verschiedenen Lerntypen beachtet werden. Eine der gängigsten Unterscheidungen ist die in [Sta03]:

- den visuellen Typ
- den auditiven Typ
- den audiovisuellen Typ
- den haptischen Typ
- den olfaktorischen Typ
- den abstrakt-verbalen Typ
- den kontakt- bzw. personenorientierten Typ
- den mediumorientierten Typ
- den einsicht- bzw. sinnanstrebenden Typ

Jeder Lerner ist ein Mischtyp aus verschiedenen dieser Lerntypen, wobei sich die Präferenz auch noch je nach Situation ändern kann.

Durch die Möglichkeit unterschiedliche Medien in Virtuelle Welten zu integrieren und bei der Präsentation neben dem visuellen auch weitere Sinne anzusprechen, können Virtuelle Lernwelten so aufgebaut werden, dass möglichst viele dieser Lerntypen angesprochen werden. Somit kann sich jeder Lerntyp auf die von ihm präferierte Lernart konzentrieren. Dies ermöglicht eine bessere Ansprache von unterschiedlichen Lernern.

Da der Ablauf von Virtuellen Lernwelten nicht linear sein muss, bietet es sich an verschiedene Lösungswege in die Virtuelle Welt zu integrieren, um den verschiedenen Lerntypen möglichst gerecht zu werden.

### 3.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Möglichkeiten zur Wissensvermittlung in Virtuellen Lernwelten untersucht. Hierbei wurde zwischen technologischen und didaktischen Möglichkeiten unterschieden, wobei die Didaktik nur beispielhaft dargestellt wurde.

Aus technologischer Sicht lässt sich Wissen durch Virtuelle und Erweiterte Realität auf vielfältige Weise vermitteln. Durch die Visualisierung von Sachverhalten lassen sich viele Erkenntnisse gewinnen, vor allem wenn durch Animation oder Simulation dieser Visualisierungen auch Abläufe gezeigt werden. Dies kann durch die Interaktion der Lernenden mit diesen Darstellungen noch vertieft werden. Zusätzlich ist es möglich weitere multimediale Informationen in die Virtuelle Lernwelt zu integrieren.

In der Didaktik werden viele Methoden eingesetzt, um den Lernern das Verständnis zu vereinfachen. Beispielhaft werden hier die Möglichkeiten Virtueller Welten zur Didaktischen Reduktion, zur Verfremdung von Sachverhalten und dem Einsatz von Virtuellen Lernwelten für Rollenspiele aufgezeigt. Jeder Lerner bevorzugt zum Lernen unterschiedliche Sinne und Vorgehensweisen. Diesen Lerntypen kann der Lehrende im herkömmlichen Unterricht nur sehr schwer gerecht werden. Die vorher angesprochene Flexibilität Virtueller Lernwelten ermöglicht es, u.a. durch die Integration weiterer Sinne und unterschiedlicher Vorgehensweisen, für mehrere dieser Lerntypen eine ihren Präferenzen entsprechende Lernwelt anbieten zu können.

## 4 Typische Elemente von Virtuellen Wissenswelten

Aus der Betrachtung verschiedener Virtueller Welten und Lernprogrammen lassen sich einige typische Elemente von Lernwelten herausarbeiten. Ob alle dieser Elemente in einer Virtuellen Lernwelt vorliegen, oder ob sogar noch zusätzliche Elemente benötigt werden, hängt stark von der Art der Lernwelt, den Lerninhalten und der gewählten Sozialform des Unterrichts ab. In Abbildung 4.1 werden wichtige Bausteine einer Virtuellen Lernwelt aufgezeigt, wobei Ein- und Ausgabe mit zu den Bausteinen gezählt werden.

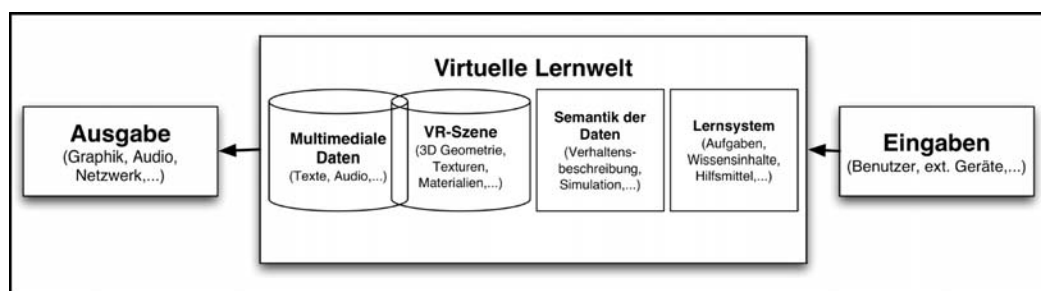


Abbildung 4.1: Elemente einer Virtuellen Lernwelt

### 4.1 Elemente Virtueller Welten

In diesem Kapitel sollen zuerst die typischen Elemente Virtueller Welten aufgezeigt werden, ohne auf die speziellen Besonderheiten Virtueller Lernwelten einzugehen.

**3D Geometrie:** Die dreidimensionale Beschreibung der einzelnen Objekte, aus denen die Szene zusammengesetzt ist, bildet die Grundlage der Virtuellen Welt. Aus diesen Daten erzeugt der Rechner die visuelle Repräsentation der Objekte auf dem Ausgabegerät (vgl. Abbildung 4.2). Die Objekte müssen so strukturiert sein, dass der Rechner die Daten verarbeiten und in Echtzeit darstellen kann.

Neben der visuellen Repräsentation werden 3D Modelle oft für verschiedene weitere Zwecke eingesetzt. Beispiele hierfür sind die Kollisionserkennung, die physikalische Simulation oder das haptische Rendering. Nicht alle dieser Objekte müssen im Rendering sichtbar sein, so werden oft vereinfachte, nicht sichtbare Geometrien für eine schnelle Kollisionserkennung genutzt, während die komplexen Geometrien für das Rendering verwendet werden [Zac00].

Um auch komplexe Szenen in Echtzeit darstellen zu können, ist man auf hardwarebeschleunigtes Rendering angewiesen. Da heutige Grafikkhardware nur die Darstellung von Polygonen unterstützt, sind die meisten Virtuellen Welten aus Polygonmodellen aufgebaut.

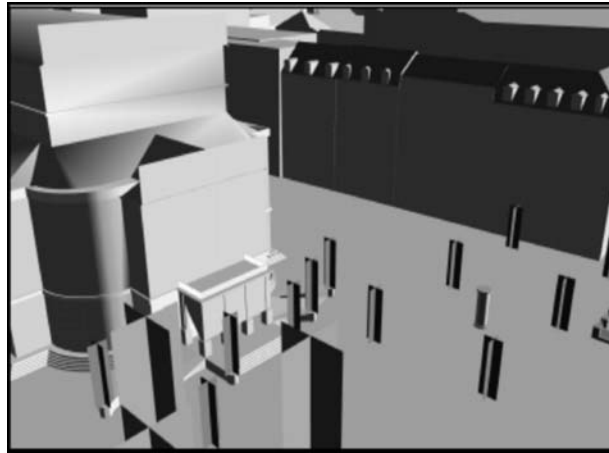


Abbildung 4.2: 3D Modell einer Stadt

**Materialien:** Das Aussehen eines Objekts wird nicht nur durch seine Form bestimmt, sondern auch sehr stark durch sein Material. Das Material eines Objekts wird durch verschiedene Eigenschaften definiert. Hauptsächlich ist hier die Farbe zu nennen, aber auch Eigenschaften wie die Größe und Farbe des Highlights, die Reflektionseigenschaften, die Oberflächenrauheit und weitere Faktoren spielen eine wichtige Rolle. Sehr wichtig für eine realistische Darstellung ist die Textur eines Objekts (vgl.

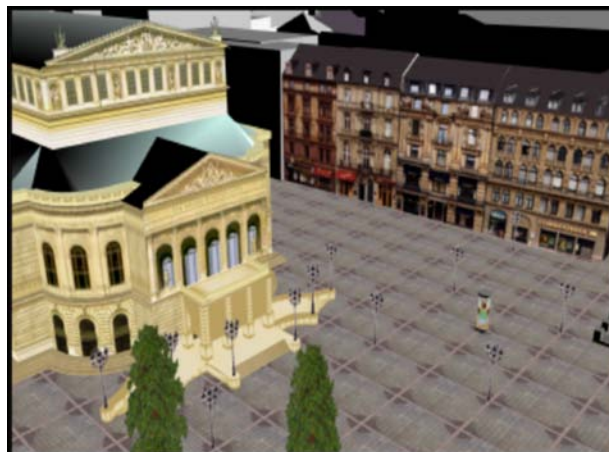


Abbildung 4.3: 3D Modell einer Stadt (texturiert)

Abbildung 4.3). Texturen definieren die räumliche Verteilung von Materialeigenschaften. Hierbei kann die räumliche Definition sowohl zweidimensional, damit wird meist die Verteilung auf der Oberfläche beschrieben, als auch drei- oder vierdimensional sein, womit auch die Verteilung im Volumen und die zeitliche Veränderung beschrieben wird. Man unterscheidet zwischen Bildtexturen und prozeduralen Texturen. Bei Bildtexturen werden alle benötigten Werte aus einer oder mehreren Bilddateien übernommen. Diese Datei muss vor dem eigentlichen Rendering vorliegen und ist in ihrer Auflösung beschränkt. Prozedurale Texturen (Shader) bestimmen die Oberflächeneigenschaften der Fläche während des Renderings anhand eines Algo-

rithmus und können somit zur Laufzeit verändert werden. Außerdem ermöglicht die algorithmische Beschreibung eine quasi unbegrenzte Auflösung. Effektiv unterstützt werden Shader nur von aktuellen Grafikkarten.

**Weitere Objekte:** Zusätzlich bestehen VR Szenen aus weiteren, nicht geometrischen Objekten. Die wichtigsten hiervon sind die Kamera und die Lichtquellen.

Jede Szene enthält mindestens eine virtuelle Kamera; diese bestimmt über ihre Parameter (Position, Orientierung, Brennweite, ...) die Darstellung der Szene. Für eine stereoskopische Darstellung wird noch eine zweite Kamera benötigt, welche sich in einem gewissen Abstand zu der ersten befindet (analog zu dem Abstand der Augen des Betrachters).

Lichtquellen bestimmen die Ausleuchtung der Szene, sofern die Ausleuchtung nicht schon beim Erstellen der Szene vorberechnet wurde, z.B. durch eine Radiosity Simulation. Die in Virtuellen Welten eingesetzten, hardwarebeschleunigten Lichtquellen bieten nur eine sehr eingeschränkte Simulation realer Lichtquellen. So werden beispielsweise keine Schatten oder Lichtreflektionen berechnet. Die Anzahl der möglichen Lichtquellen ist normalerweise von der Grafikkarte beschränkt und jede Lichtquelle kostet Rechenzeit.

Viele Virtuelle Welten binden auch Audioquellen mit in die Szene ein. Oft werden solche Audioquellen, ähnlich wie Lichtquellen, im dreidimensionalen Raum positioniert, um eine räumliche Simulation der Schallausbreitung zu ermöglichen. Ebenso wie bei der Lichtausbreitung ist die Simulation von Schallwellen eingeschränkt. Die komplexen akustischen Eigenschaften von realen Räumen können meist nur eingeschränkt in Echtzeit simuliert werden.

Zusätzlich können noch interne Objekte notwendig sein, wie z.B. *Kraftfelder* für eine physikalische Simulation, *Sensoren*, die auf Anwendereingaben reagieren oder *Interpolatoren*, die zwischen Werten (Positionen, Rotationen, Farben, ...) interpolieren.

Diese Elemente werden intern in einem Szenengraphen wie z.B. OpenSG [Rei02] geordnet. Der Szenengraph stellt die interne hierarchische Gliederung der Szene dar. Szenengraphen sind gerichtete Graphen, welche sämtliche Objekte der Virtuellen Welt enthalten und dort als *Knoten* repräsentiert werden.

## 4.2 Elemente rechnergestützter Lernwelten

Aus erziehungswissenschaftlichen Erkenntnissen und den aus didaktischer Sicht allgemein an Lernsoftware zu stellenden Ansprüchen einerseits, sowie aus der Analyse bereits vorhandener Lernumgebungen und den sich speziell für Virtuelle Lernwelten ergebenden Anforderungen andererseits folgen einige Charakteristika, mit deren Hilfe sich nun generell graphisch orientierte Lernumgebungen beschreiben und entwickeln lassen. Obwohl der Schwerpunkt der hier gewählten Betrachtungsweise auf der Lernerseite liegt, sollte die Systemstruktur intern so erweiterbar und damit wartbar gestaltet werden, dass später neben noch nicht bedachten Anwendungsgebieten auch die sich aus Lehrersicht ergebenden Anwendungsfälle ohne allzu großen Aufwand eingebunden werden können.

Wie in Kapitel 5 dargestellt, bildet ein *Lernweltverwalter* den Kern der Lernwelt. Dieser Lernweltverwalter strukturiert den Lernprozess, indem er Aufgaben und Lernziele zur

Verfügung stellt. Er unterstützt sowohl den Lernenden als auch den Lehrenden, indem er Hilfestellungen zum Lernprozess und zur Interaktion mit der Welt bereit stellt und er vermittelt die Inhalte.

Es existiert keine allgemeine, inhaltsunabhängige Lösung zur Lernzieloperationalisierung. Die genaue Ausarbeitung der Struktur einer Lernwelt, die Auswahl der Aufgaben und Inhalte und der eingesetzten Methoden muss von einem Pädagogen, in Hinblick auf das Lernziel, die Lerngruppe und die äußerlichen Rahmenbedingungen, durchgeführt werden. Es lassen sich aber einige grundlegende Aufgaben finden, welche in einer Großzahl von Lernwelten einsetzbar sind. Es ist möglich eine Sammlung von inhaltsunabhängigen Templates von Aufgaben und Aktionen zu erstellen, aus denen man, ähnlich einem Baukasten, in einem Autorensystem Lernwelten zusammenstellen kann. Dazu sind diese vordefinierten Templates geeignet zu verknüpfen und mit den entsprechenden Inhalten zu füllen. Neben den an dieser Stelle beschriebenen allgemeinen Aufgaben lassen sich sicher noch weitere finden, besonders wenn inhaltsspezifische Aufgaben in die Betrachtung mit einbezogen werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Aufgaben sind:

**Navigation:** Selbständiges Navigieren ist eine Voraussetzung für die Immersion in Virtuellen Welten und ermöglicht die selbsttätige Exploration der Lernwelt, was für den Verstehensprozess notwendig ist – egal, ob man sich jetzt auf das entdeckende Lernen oder das im Konstruktivismus geforderte Konzept der multiplen Perspektiven beruft. Zwar bietet jedes VR-System eine Möglichkeit zur Navigation in der Virtuellen Welt, da aber in einer Virtuellen Lernwelt viele Aufgaben und Wissensinhalte von der Position des Benutzers in der Welt abhängen, muss auch die Navigation über den, in Kapitel 5.2.1 beschriebenen, Lernweltverwalter laufen.

Äußerst wichtig für Virtuelle Lernwelten ist eine einfache Navigationsmöglichkeit innerhalb der Welt, da die Navigation normalerweise nur ein Mittel zum Zweck ist und nicht von der Konzentration auf die Lernaufgabe ablenken darf.

**Objektmanipulation:** Die Objektmanipulation ist eine grundlegende Interaktionsmöglichkeit in Virtuellen Welten. Die Auswirkungen der Manipulation hängen sehr stark von den Inhalten ab und kann z.B. die Änderung von Position, Orientierung oder Skalierung eines Objekts oder von Simulationsparametern zur Folge haben. Technisch lässt sich eine solche Manipulation oft einfach durch das Setzen von Feldwerten in den Knoten des Szenengraphen umsetzen. Komplexere Objektmanipulationen erfordern eine geeignete Unterstützung durch die Software, um die Lerner bei der Aufgabe zu unterstützen. So ist z.B. das exakte Positionieren von Objekten im 3D Raum ohne haptisches Feedback nur schwer zu bewerkstelligen, was zur Entlastung der Lerner von der Software vereinfacht werden sollte. Dies ließe sich z.B. durch die Integration eines Snapping Algorithmus erreichen.

**Rucksack/Inventory:** Besonders in Explorationswelten ist es oft wichtig Objekte einzusammeln und diese im geeigneten Moment richtig einzusetzen. Alle gesammelten Objekte werden an einem Ort gespeichert und stehen dem Benutzer dann jeder Zeit zur Verfügung.

Als Abwandlung des Rucksacks kann der Notizblock betrachtet werden, welcher dazu dient textuelle oder bildliche Informationen zu sammeln und für eine spätere Verwendung zu speichern.

**Hilfe:** Das Modul *Hilfe* folgt direkt aus der Forderung nach einer Strukturierung der Lerninhalte bzw. aus dem Guiding. Das Hilfemodul unterstützt den Lerner bei seiner Lernaufgabe, indem es ihm Hilfestellungen und Hinweise zur Lösung einer Lernaufgabe bereitstellt. Dies können aber auch weiterführende und vertiefende Informationen zum behandelten Thema sein.

Das Hilfemodul kann außerdem dafür eingesetzt werden Hilfestellung bei der Interaktion mit der Lernwelt zu geben.

**Test:** Zur Überprüfung des Lernerfolgs bietet es sich an, eine Abfrage des vermittelten Wissens in das System zu integrieren. Dafür kann auf Informationen über den Lerner, welche während der Interaktion mit der Lernwelt gesammelt wurden, zurückgegriffen werden.

Ein solcher Test kann u.a. in Form eines auf den Lerner angepassten Fragebogen durchgeführt werden oder aus einer Interaktionsaufgabe innerhalb der Lernwelt bestehen.

## 4.3 Multimediale Daten

Obwohl Multimediale Daten oft schon Elemente von Virtuellen Welten sind, erhalten sie in Virtuellen Lernwelten nicht selten eine besondere Bedeutung. Sie ermöglichen es dem Lernenden sich mit dem Lerngegenstand durch multimodale und multicodale Repräsentationsformen auseinanderzusetzen. Besonders die multicodale Darstellung fördert durch ein Nebeneinander von verbaler und bildhafter Repräsentationsformen die Bildung eines adäquaten mentalen Modells des Lerngegenstands.

Die Möglichkeit Virtueller Welten verschiedene Medien in die Welt zu integrieren und weitere Ausgabekanäle anzusteuern ermöglicht es umfassende Lernwelten zu erstellen, welche im Sinne von Comenius (vgl. Kapitel 1.1) die verschiedenen Sinne der Lernenden ansprechen und ihnen Informationen auf viele verschiedene Arten näher bringen.

Zwar unterstützen VR- und AR-Systeme die Integration multimedialer Daten, aber oft ist eine nahtlose Integration nicht einfach. Probleme bei der Darstellung von weiteren Medien, vor allem von visuellen Medien, in einer dreidimensionalen Virtuellen Welt entstehen meist durch den Medienbruch. Die Darstellung von Objekten, die nicht in die Szene gehören, können das Immersionsgefühl stören, außerdem verdecken sie den Blick auf die Szene zumindest teilweise.

In Kapitel 7 wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie solche multimediale Daten in eine Virtuelle Lernwelt integriert werden können, ohne den Blick auf die Szene zu verstellen.

**Dreidimensionale Objekte:** Dreidimensionale Objekte wurden schon in Kapitel 4.1 als Elemente der Virtuellen Welt genannt. In Virtuellen Lernwelten repräsentieren 3D Geometrien nicht einfach nur die Virtuelle Welt, sondern auch einen Teil des zu lernenden Wissensinhalts. In der Virtuellen Lernwelt „Der Virtuelle Dom von Siena“ (vgl. Kapitel 8.2) wird dies sehr gut verdeutlicht. Alle Handlungen finden innerhalb des Doms statt, er bildet die Szene, in der sich der virtuelle Reiseführer und der Benutzer bewegen und in der sie den Erklärungen des Reiseführers zuhören. Der Dom selbst ist aber, mit seiner Architektur, seinen Gemälden und Bildhauerarbeiten, auch der Lernstoff mit dem sich die Lerner beschäftigen (vgl. Abbildung 4.4).

**Bilder und Animationen:** Bei der Darstellung von Bildern und Animationen in Virtuellen Welten sind zwei Arten zu unterscheiden. Zum Einen können sowohl Bilder als auch Animationen zum Texturieren des Modells verwendet werden. Sie sind somit ein Teil des virtuellen Modells und fügen sich nahtlos in die Szene ein. Zum Anderen können sie als zusätzliche Informationen, z.B. in Form von Diagrammen, historischen Photographien, usw., verwendet werden, welche zusätzlich zu den Szenenelementen dargestellt werden.

Bilder und Animationen lassen sich, von der technologischen Seite her, sehr leicht



Abbildung 4.4: Der virtuelle Reiseführer im Sieneser Dom

in Virtuelle Umgebungen integrieren. Sie können einfach als Textur auf eine Fläche oder einem Objekt angebracht werden. Sind die verwendeten Bilder und Animationen kein Teil der Szene, sondern werden als Informationsträger in diese eingeblendet, so kann es hier zu einem Medienbruch kommen, welcher nach Möglichkeit zu vermeiden ist.

Probleme können hier, ebenso wie bei der Darstellung von Text, durch eine zu niedrige Auflösung des Ausgabegeräts kommen. Besonders bei Bildern mit feinen Linien oder Bezeichnungen, wie sie z.B. bei Diagrammen oder Skizzen auftreten, lassen sich nur bei entsprechend hohen Auflösungen erkennen.

**Texte:** Texte bilden meist die wichtigste Grundlage zur Wissensvermittlung. Auch in der schulischen Ausbildung werden hauptsächlich Texte zur Wissensvermittlung verwendet. Texte können in schriftlicher, z.B. als Lehrbuch, oder gesprochener Form, z.B. als Lehrervortrag, eingesetzt werden.

Textdarstellung sind in Virtuellen Welten zwar möglich, die Lesbarkeit, vor allem bei langen Texten, ist aber als schlecht zu bezeichnen. Besonders kritisch ist dies bei niedrig auflösenden Displays, wie bei dem Head-Mounted-Display oder bei See-Through Brillen für AR Anwendungen. Kurze Texte lassen sich problemlos sowohl



als 3D Objekte als auch als Textur in die Szene integrieren. Diese Möglichkeit bietet sich für Bezeichnungen, die Darstellung von Werten und kurze Erklärungen an. Neben der schlechten Lesbarkeit besteht das Problem, dass die Darstellung des Textes, zumindest teilweise, den Blick auf die Szene und damit oft auch auf das durch den Text erklärte Objekt verdeckt.

Für die Integration von langen Texten bieten sich zwei Möglichkeiten an:

- **Gesprochener Text:** Der Text wird nicht in schriftlicher Form präsentiert, sondern von einem professionellen Sprecher gesprochen. Diese Form entspricht dem Vortrag eines Sachverhalts durch den Lehrenden. Für Erweiterte Realität ist dies, bedingt durch die geringe Auflösung der heute verfügbaren Displays, die einzige Möglichkeit lange Textpassagen in die Präsentation zu integrieren. Hierzu muss der Text allerdings als Sprache vorliegen. Dies kann eine Audiodatei sein, welche von einem Sprecher gesprochen wurde. Probleme sind hierbei die hohen Kosten für eine qualitativ hochwertige Aufnahme und der Verlust an Flexibilität. Jede Änderung des Textes muss neu gesprochen werden. Eine weitere Möglichkeit bieten Text-to-Speech Technologien, welche es ermöglichen den gesprochenen Text vom Rechner aus Textdateien generieren zu lassen. Die Qualität und damit auch die Verständlichkeit solcher rechnergenerierter Sprache ist mit den heutigen Technologien noch sehr schlecht, vor allem wenn andere Sprachen als Englisch benötigt werden. Neben der oftmals schlechten Verständlichkeit kommt es durch den künstlichen Klang der Sprache zu einem Verlust von Immersion.
- **Spezielles Ausgabegerät:** Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Textausgabe auf ein weiteres Ausgabegerät zu verlagern. Wird z.B. ein Touchscreen zur Interaktion genutzt, so kann dieser auch als Ausgabegerät für Texte dienen. Texte sind auf Bildschirmen besser zu lesen als auf stereoskopischen Projektionen und der Blick auf die Szene wird nicht durch die Textdarstellung behindert. Es bietet sich dann auch an den Text für die Interaktion zu nutzen. Über die Möglichkeiten von Hypertext können so weitere Informationen, z.B. weitere Texte, Bilder oder Animationen, in den Text integriert oder Aktionen in der Virtuellen Welt ausgelöst werden.

**Audio:** Audio lässt sich am einfachsten in eine Virtuelle Lernwelt integrieren und trägt sehr stark zum Immersionsgefühl bei, vor allem wenn das System die Möglichkeit bietet Audio räumlich zu präsentieren und die Akustik verschiedener Räume zu simulieren. Da die Audioausgabe parallel zur visuellen Darstellung läuft, ergeben sich keine Überschneidungen mit den visuellen Ausgabekanälen. Audio kann zur Ausgabe von langen Texten genutzt werden. Zusätzlich bietet es sich an Audio zur Informationsvermittlung zu nutzen. Mögliche akustische Informationen können sein [Ast95]:

- **Informationen:** Die abgespielten Töne können ein Teil des zu vermittelnden Wissens sein, dies ist z.B. bei gesprochenen Texten oder der Darstellung von akustischen Phänomenen (z.B. Dopplereffekt) der Fall.
- **Alarmmeldungen oder Warntöne:** Dies sind kurze, prägnante Signale, die die Aufmerksamkeit des Benutzers wecken, und ihn auf mögliche Probleme aufmerksam machen.

- **Statusmeldungen:** Die akustische Darstellung solcher Meldungen ermöglicht es den Benutzern über den Zustand eines Vorgangs zu informieren, ohne seine Aufmerksamkeit zu stark von anderen Aufgaben abzulenken.
- **Kodierte Meldungen:** Informationen lassen sich in akustischen Parametern kodieren und somit dem Benutzer zugänglich gemacht werden, so lassen sich z.B. mehrdimensionale Datenvektoren auf Charakteristika von akustischen Signalen, wie z.B. Tonhöhe, Lautstärke oder die Tondauer, abbilden und somit die visuelle Darstellung unterstützen oder erweitern.

**Gerüche:** In vielen Forschungslaboren wird an der Synthese von Gerüchen für den Einsatz in Virtuellen Welten gearbeitet [YKN<sup>+</sup>04]. Bisher konnte sich aber kein System richtig durchsetzen.

### 4.4 Verhalten

Statische VR Welten wirken auf die Betrachter oft künstlich, selbst wenn hochqualitative Modelle und Renderingverfahren genutzt werden. Selbst in scheinbar statischen Szenen treten in der realen Welt meist Bewegungen auf, die der Betrachter vielleicht nicht bewusst wahrnimmt, deren Fehlen in der Virtuellen Welt diese Umgebung aber künstlich erscheinen lässt. Selbst geringe Bewegungen, wie z.B. wehende Fahnen oder bewegte Blätter in Bäumen, steigern den Realismus einer Szene erheblich.

Animierte Objekte beleben aber nicht nur die Virtuelle Welt und machen sie damit für den Benutzer interessanter und glaubhafter, sie können vor allem auch der Wissensvermittlung dienen. Durch eine animierte Darstellung lassen sich komplexe Zusammenhänge oft deutlich einfacher erfassen. Basiert das Verhalten der Objekte auf einer Simulation, so lassen sich Simulationsparameter interaktiv ändern, z.B. die Stärke der Gravitation in einem Fallversuch, und somit Zusammenhänge auch experimentell erarbeiten.

**Animierte Bewegungen:** Animierte Bewegungen werden schon bei der Erstellung der Szene definiert und dann zur Laufzeit abgespielt. Hierbei können verschiedene Parameter der Animation, wie z.B. der Startzeitpunkt oder die Abspielgeschwindigkeit, von verschiedenen Faktoren abhängen.

Durch die Vorberechnung belasten Animationen die Echtzeitberechnung der Szene nicht übermäßig, da der größte Teil des Rechenaufwands bei der Erstellung anfällt. Da die Erstellung der Animation nicht in Echtzeit zu erfolgen hat, lassen sich komplexe Berechnungen für Simulationen einsetzen oder die Animationen können von geschulten Personen von Hand erzeugt werden. Der Ablauf der Animation lässt sich immer wieder begutachten und Fehler können gefunden und korrigiert werden.

Einige mögliche Verfahren zur Beschreibung animierter Objekte sollen im Folgenden kurz erläutert werden:

- **Keyframe Animation:** Die animierten Parameter eines Objekts (z.B. Position, Größe, Skalierung, Farbe, ...) werden zu bestimmten Zeitpunkten, den sogenannten Keyframes, festgelegt. Das Berechnen der Werte und Zeitpunkte für die einzelnen Keyframes kann entweder von Hand oder durch ein Programm, z.B. eine komplexe Simulation, erfolgen. Beim Abspielen der Animation interpoliert das System fehlende Daten und kann so flüssige Bewegungsabläufe

erzeugen, ohne dass für jedes zu berechnende Bild ein Keyframe definiert werden muss.

- **Geometrieanimation:** Verschiedene geometrische Zustände des Objekts werden als einzelne Objekte gespeichert (vgl. Abbildung 4.5) und beim Abspielen nacheinander ein- bzw. ausgeschaltet. Hiermit können komplexe Verformungen eines Objekts dargestellt werden. Der Nachteil hierbei ist der sehr hohe Speicherbedarf für flüssige Bewegungen von komplexen Objekten.
- **Morphing:** Ähnlich wie bei der Geometrieanimation werden auch hier verschiedene Zustände des Objekts definiert. Es wird hier aber auf die Speicherung der Zwischenschritte zwischen den Schlüsselpositionen verzichtet. Die Animation der Geometrie erfolgt dann durch die Interpolation zwischen diesen Schlüsselpositionen, wobei durch das anteilmäßige Mischen verschiedener Schlüsselpositionen eine große Vielfalt an Ergebnissen möglich ist.
- **Skin-and-Bones:** Diese aus der Charakteranimation stammende Technik definiert die Bewegung einfacher Objekte, welche normalerweise in der Präsentation der Virtuellen Welt nicht dargestellt werden. Diese Objekte verformen dann die sichtbare Geometrie. Bei einem Avatar wird z.B. nur die Bewegung der wichtigsten Knochen festgelegt, beim Abspielen der Animation wird dann die Haut und Kleidung entsprechend der Bewegung dieser Knochen verformt. Dies ist eine Mischung zwischen einer vorberechneten Animation und einer Animation in Echtzeit. Durch die Unabhängigkeit der Animation von der verwendeten Geometrie lässt sich bei diesem Verfahren die Geometrie, mit gewissen Einschränkungen, austauschen. So könnte sich z.B. der Reiseführer im Virtuellen Dom von Siena Kindern anders Präsentieren als Erwachsenen.

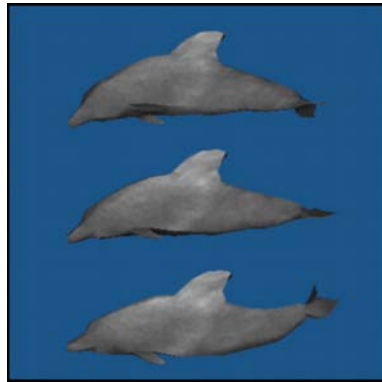


Abbildung 4.5: Phasen einer Geometrieanimation

Beim Einsatz bewegter Objekte ist meist eine Entscheidung zwischen der zur Laufzeit benötigten Rechenleistung, die z.B. bei Morphing oder Skin-and-Bones hoch sein kann, und der Datenmenge, die z.B. bei reinen Geometrieanimationen durch die Speicherung der einzelnen Geometrieinformationen anwächst, zu treffen.

**Prozedurale Bewegungen:** Ebenso wie Animationen beleben prozedurale Animationen die Virtuelle Welt und tragen meist zu einem erhöhten Realismus bei. Im Gegensatz

zu Animationen werden diese Bewegungen aber nicht vorberechnet, sondern die Berechnung erfolgt zur Laufzeit der Präsentation. Dadurch lässt sich dieser Ablauf auch zur Laufzeit beeinflussen und verändern. Teilweise wird diese Vorgehensweise durch die in heutigen Graphikkarten integrierten Vertexshader unterstützt.

Durch Simulationen kann man naturwissenschaftliche Gesetze (vgl. Abbildung 4.6), aber auch komplexes Verhalten von Objekten realisieren. Da hierbei, im Gegensatz zur Animation, sowohl die Berechnung als auch die Veränderung der Parameter eines Objekts zur Laufzeit, d.h. mehr als zwanzig mal pro Sekunde erfolgen müssen, muss man meist Abstriche bei der Komplexität der Simulation machen. So kann z.B. bei der sehr Rechenzeit intensiven Kollisionserkennung komplexer Objekte [Zac00] eine nicht sichtbare, vereinfachte Geometrie für den Kollisionstest genutzt werden, um den Rechenaufwand zu reduzieren. Die ständig steigende Rechenleistung moderner Rechner ermöglicht es aber immer komplexere Simulationen in Echtzeit zu berechnen, und sie somit in Virtuellen Welten einsetzen zu können.

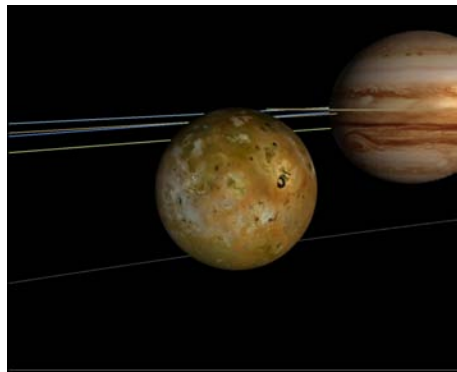


Abbildung 4.6: Eine Simulation des Sonnensystems

Besonders bei der Darstellung von komplizierten Verhaltensweisen mischt man oft Simulation und Animation. Hierbei wird die Simulation normalerweise zur übergeordnete Planung des Verhaltens eingesetzt und steuert den Ablauf der Animationen. So kann die Bewegung eines Avatars aus verschiedenen Grundbewegungen zusammengesetzt werden. Die Aktion „Laufe 100 m und bleibe dann stehen“ kann so aus den Einzelaktionen „Loslaufen“, „Rennen“ und „Stehen bleiben“ zusammengesetzt werden. Das Simulationssystem wählt diese Bewegungen aus einer Animationsbibliothek, setzt sie entsprechend zusammen und kann möglicherweise noch zwischen diesen überblenden, um einen fließenden Übergang zu erzeugen.

Simuliertes Verhalten ermöglicht es den Lernenden, ebenso wie bei animiertem Verhalten, durch das Beobachten der Abläufe zu lernen. Simulationen bieten hier ein weiteres Spektrum an möglichen Verhaltensweisen, da nicht alles vorgegeben ist und das Verhalten stärker von den Aktionen des Benutzers abhängig gemacht werden kann. Der große Vorteil von Simulationen gegenüber Animationen ist die Möglichkeit das Verhalten von Objekten zur Laufzeit zu ändern.

## 4.5 Eingabe

Zur Steuerung der Virtuellen Lernwelt werden Möglichkeiten benötigt, um Informationen von außen an das System zu geben. Die wichtigsten Eingabekanäle sind dabei die Interaktionsmöglichkeiten der Benutzer. Für die Interaktion mit Virtuellen Welten existiert eine ganze Reihe an speziellen Eingabegeräten, wobei viele dieser Geräte nicht für die Interaktion mit einer Virtuellen Lernwelt geeignet sind. Die verschiedenen Klassen von Interaktionsgeräten werden im Kapitel 7.1 näher vorgestellt.

Neben der Benutzerinteraktion sind weitere Eingaben in das System möglich, so können z.B. Informationen von externen Quellen, z.B. Messwerte eines realen Messgeräts oder aktuelle Daten aus dem Internet in die Virtuelle Lernwelt integriert werden. Auch die Steuereinrichtungen, welche für verteilte Virtuelle Welten benötigt werden, können als solche externe Eingaben betrachtet werden.

## 4.6 Ausgabe

Der wichtigste Ausgabekanal für Virtuelle Welten ist die visuelle Präsentation. Der visuelle Sinn ist beim Menschen sehr stark ausgeprägt und eine visuell hochwertige Präsentation erzeugt beim Betrachter sehr schnell ein Präsenzgefühl, was durch eine rein auditive Darstellung viel schwerer zu erreichen ist. Ein Großteil unserer Informationen über unsere Umwelt erhalten wir durch optische Reize, weshalb die optische Präsentation auch für Lernwelten die wichtigste Darstellungsform ist.

Weitere Ausgabekanäle können aber das Präsenzgefühl noch erhöhen und zusätzliche Informationen vermitteln, weshalb sie hier auch angesprochen werden sollen.

Wie schon in Kapitel 1.3 erläutert, unterscheidet man bei VR-Ausgabegeräten oft zwischen immersiver und nicht immersiver Darstellung, wobei der Übergang zwischen diesen Darstellungsformen meist fließend ist und nicht nur vom verwendeten Ausgabegerät abhängt.

**Monitorbasierte Systeme:** Monitorbasierte Systeme werden für Desktop VR eingesetzt.

Die Virtuelle Welt wird auf einem Monitor präsentiert. Um eine stereoskopische Darstellung zu erreichen, kann hier ein aktives Verfahren mit Shutterbrille genutzt werden, es befinden sich aber auch autostereoskopische Monitore in der Entwicklung, welche eine dreidimensionale Darstellung ohne zusätzliche Hilfsmittel ermöglichen.

**Projektionsbasierte Systeme:** Projektionsbasierte Systeme sind die am weitesten verbreiteten Ausgabesysteme für Virtuelle Welten. Darunter sind Ausgabegeräte wie Großbildleinwände (wie z.B. die HEyeWall [Knö]), CAVE oder Virtual Table zu verstehen. Um eine stereoskopische Darstellung zu erreichen, können aktive (Shutterbrillen) oder passive Verfahren (Polarisation, InfiTec, ...) genutzt werden.

**Kopfbasierte Systeme:** Bei kopfbasierten Systemen befinden sich die Ausgabegeräte direkt vor den Augen und werden automatisch durch die Kopfbewegungen bewegt. Somit wird erreicht, dass sich das erzeugte Bild immer im Blickfeld des Benutzers befindet und er das Gefühl hat von der Virtuellen Welt umgeben zu sein. Vertreter solcher Ausgabegeräte sind das Headmounted Display (HMD) oder der Boom. Die stereoskopische Darstellung wird hier durch einen eigenen Monitor für jedes Auge erzielt.

Aufgrund der hohen Kosten und möglicher Probleme mit der Ergonomie eignen sich



Abbildung 4.7: Headmounted Display

solche Geräte nur bedingt für Virtuelle Lernwelten.

**Erweiterte Realität:** Ausgabegeräte für Erweiterte Realität befinden sich noch in der Entwicklung. Man unterscheidet normalerweise zwischen optischem See-through und Video See-Through. Die Geräte werden meist als kopfbasierte Systeme realisiert, um dem Benutzer das Gefühl zu geben, die eingeblendeten virtuellen Objekte wären tatsächlich ein Teil der realen Welt (vgl. Abbildung 4.8).



Abbildung 4.8: Benutzer mit See-Through HMD

**Weitere Ausgabegeräte:** Neben der optischen Darstellung sind noch weitere Ausgabe-kanäle denkbar, von denen einige hier exemplarisch aufgezeigt werden sollen.

- **Haptik:** Eines der größten Probleme vieler Virtueller Welten ist das fehlende haptische Feedback. Der Mensch orientiert sich bei vielen Aktionen sehr stark mit Hilfe seiner taktilen und kinästhetischen Sinne. Fehlen diese Sinesseindrücke, so kann dies die Interaktion mit der Virtuellen Welt sehr stark erschweren [Zie97]. Vor allem bei der Interaktion mit Objekten im Virtuellen Raum, z.B. bei der Einbau-Montage-Simulation, fehlt das Gefühl die virtuellen Objekte zu berühren und für die Kollision der Objekte untereinander. In den letzten Jahren wurden verschiedene Verfahren und Geräte zur Haptiksimulation entwickelt. Als Beispiel hierfür kann das Phantom dienen, welches in der Lage

ist Kräfte innerhalb eines Würfels mit etwa 15 cm Kantenlänge darzustellen. Man unterscheidet zwischen:

- **Kraft-Rückkopplungsgeräten**
- **Taktilen Rückkopplungsgeräten**
- **Form-bildenden Geräten**

Für den Einsatz mit Erweiterter Realität eignen sich, bedingt durch die Baugröße und technologischen Randbedingungen der meisten Geräte, nur sehr wenige dieser Ausgabegeräte. Auch für Virtuelle Realität werden solche Geräte bisher nur sehr selten und hauptsächlich nur in industriellen Anwendungen eingesetzt. Verhindert wird der Einsatz hauptsächlich dadurch, dass die für die Erzeugung der Kräfte notwendige Mechanik sehr groß ist und somit den Blick auf die Virtuelle Welt, außer bei kopfbasierten Systemen, verdeckt.

Haptisches Feedback bietet vielfältige Möglichkeiten zur Wissensvermittlung, beispielsweise können in Physik-Lernwelten Kräfte verdeutlicht oder Oberflächen fühlbar gemacht werden. In einem Museum in Australien konnte von den Besuchern beispielsweise ein Phantom genutzt werden, um ein virtuelles Modell der Erde abzutasten, und somit ein Gefühl für die Größe von Gebirgen oder Tiefseegräben zu bekommen. Die momentane Entwicklung lässt aber vermuten, dass ein umfassender Einsatz von haptischen Geräten in nächster Zeit nicht zu erwarten ist.

- **Thermisches Feedback:** Durch die Ansteuerung von Thermoelementen oder Infrarotstrahlen zur Darstellung von Temperatur [Dio96] lassen sich auch thermische Informationen direkt in Virtuelle Lernwelten integrieren.

## 4.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde anhand der Betrachtung verschiedener Virtueller Welten und Lernprogramme einige typische Elemente von Virtuellen Lernwelten herausgearbeitet. Unterschieden wurde hierbei zwischen den Elementen Virtueller Welten, wobei auch die Elemente der Ein- und Ausgabekanäle beachtet wurden, sowie den Elementen die speziell für rechnergestützte Lernwelten benötigt werden. Da die Elemente Virtueller Lernwelten sehr stark von äußeren Rahmenbedingungen, wie z.B. Themengebiet, Alter der Lernenden oder dem vorhanden Vorwissen abhängen, wurden einige allgemeine Prinzipien erarbeitet, die häufig in Unterrichtssituationen und rechnergestützten Lernprogrammen zu finden sind.





## 5 Ein Basissystem für Virtuelle Lernwelten

Beim Aufbau komplexer Virtueller Lernwelten ergeben sich die Fragestellungen wie man die Virtuelle Welt erstellt, das Verhalten der Objekte definiert und die Lerninhalte integriert. In den folgenden Kapiteln werden Vorschläge zur Lösung dieser Fragestellungen

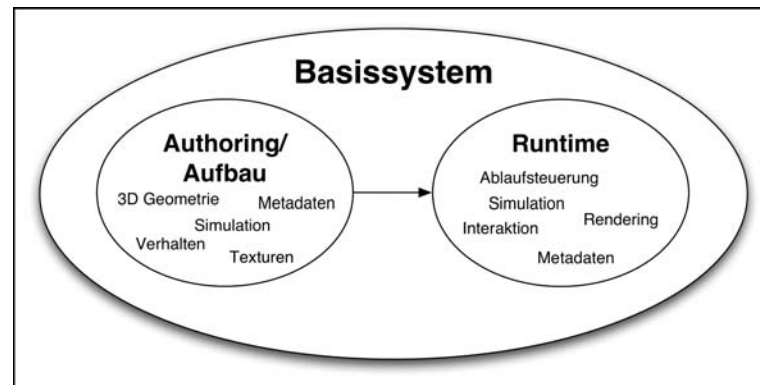


Abbildung 5.1: Basissystem für Virtuelle Lernwelten

gegeben. Es wird zuerst der Erstellungsprozess von Virtuellen Lernwelten, welcher sich in Modellierung, Authoring und Adaption gliedert, näher betrachtet. Im zweiten Teil werden diejenigen Komponenten vorgestellt, die für die Präsentation von diesen Lernwelten benötigt werden. Es werden hierbei nur solche Komponenten betrachtet, die für die speziellen Anforderungen von Lernwelten benötigt werden.

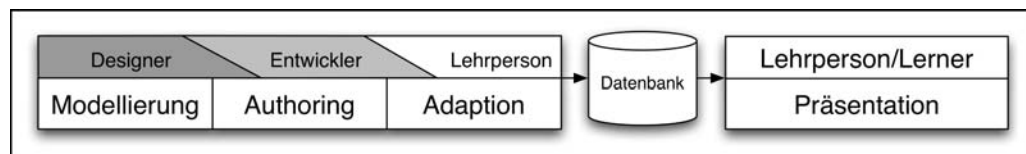


Abbildung 5.2: Komponenten des Basissystems

Für einfache Lernwelten, wie z.B. die in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Explorationswelten, kann es ausreichend sein die Virtuelle Lernwelt als normale VR Welt zu realisieren. Werden die an die Lernwelt gestellten Ansprüche aber höher, wie z.B. bei Experimentalwelten (vgl. Kapitel 3.1.4) so werden weitere Elemente in dem System notwendig.

### 5.1 Authoring- und Aufbaukomponenten

Eine Virtuelle Welt besteht nicht nur aus geometrischen Objekten und Texturen, sondern es werden noch weitere Objekte und Beschreibungen benötigt. Nach der Erstellung der Szenegeometrie müssen diese Objekte räumlich angeordnet, strukturiert, beleuchtet und mit

Leben erfüllt werden. Einige dieser Schritte lassen sich im Modellierungssystem erledigen, z.B. die räumliche Anordnung und die Beleuchtung. Für viele Aufgaben werden aber spezielle Werkzeuge benötigt. Vor allem die Verhaltensbeschreibungen variieren von System zu System sehr stark, so dass diese Aufgabe meist gar nicht oder nur ansatzweise im Modellierungssystem erledigt werden kann. Durch die oftmals nötige Konvertierung von Dateiformaten zwischen Modellierungs- und VR-System, macht es Sinn auch die räumliche Anordnung, oder zumindest die Veränderung und Anpassung derselben, im gleichen System zu erledigen, wie z.B. die Verhaltensbeschreibung.

In diesem Kapitel wird ein Konzept für ein komponentenbasiertes Autorensystem [Esc00] vorgestellt. Das Konzept resultiert einerseits aus den Erkenntnissen, die bei der Betrachtung bestehender Systeme aus den verschiedenen Bereichen in Hinblick auf die Anforderung an VR-Autorensysteme gewonnen wurden, andererseits aus weiteren Ansätzen und Konzepten, die durch Literatur- und Quellenrecherche hervorgegangen sind. Eingeflossen sind zusätzlich Konzepte aus dem Bereich der Softwareentwicklung.

### 5.1.1 Modellierung Virtueller Lernwelten

Um eine Virtuelle Welt möglichst realistisch in Echtzeit darstellen zu können und dem Benutzer die Möglichkeit zu geben mit dieser Welt auch zu interagieren, werden besondere Anforderungen an die rechnerinterne Repräsentation dieser Welt gestellt. Diese interne Repräsentation beschreibt sowohl das visuelle Aussehen der Welt als auch das Verhalten der Objekte innerhalb derselben sowie die Möglichkeiten des Benutzers diese Welt zu beeinflussen.

#### 5.1.1.1 Vorgehensweise für die Modellierung Virtueller Lernwelten

Wie in Kapitel 4.1 erläutert wurde, werden Virtuelle Welten intern aus folgenden Elementen zusammengesetzt:

- **3D Geometrien**
- **Materialien**
- **Weitere Objekte**
- **Szenengraph**
- **Verhaltensdefinitionen**

Das Erstellen dieser Teile und das Zusammenfügen derselben zu einer ansprechenden und funktionalen Virtuellen Welt stellt einen großen Aufwand dar. Neben dem, teilweise sehr beachtlichen, zeitlichen Aufwand wird meist auch sehr viel Spezialwissen benötigt. Besonders die Definition des Verhaltens setzt ohne die Unterstützung durch spezielle Werkzeuge meist Kenntnisse in einer Programmiersprache voraus. Ebenso werden für die Erstellung der 3D Geometrien und der Materialien Personen mit speziellem Wissen benötigt. Zu nennen sind hier: Das räumliche Vorstellungsvermögen, die technische Erfahrung und Kenntnisse über die eingesetzte Hard- und Software.

Nachdem die Preise der für die Präsentation von Virtuellen Welten benötigten Rechner, Projektoren und weiteren Ein- und Ausgabegeräte in den letzten Jahren stark gesunken sind,

tritt der Aufwand der Erstellung und Anpassung einer solchen Welt als Kostenfaktor verstärkt in den Vordergrund. Nur eine weite Verbreitung von Virtuellen Lernwelten und der damit verbundenen Verteilung der Kosten kann diese für den einzelnen Einsatz senken.

**Erstellung der dreidimensionalen Objekte** Für das Erstellen der 3D Geometrien und Materialien existieren eine Vielzahl von Werkzeugen, welche hauptsächlich aus dem Bereich der Computeranimation, des Computer Aided Design (CAD) und der Bildbearbeitung stammen. Meist lassen sich die Platzierung der Lichtquellen, die Positionierung der Kamera und einfache Animationen im gleichen System erledigen.

Da eine Echtzeitdarstellung komplexer geometrischer Objekte nur durch eine spezielle Hardwareunterstützung bei der Bildgenerierung möglich ist, müssen die Objekte den Anforderungen dieser Hardware entsprechen. Die wichtigste Einschränkung heutzutage ist, dass Objekte aus Polygonen bestehen müssen, d.h. jedes Objekt muss aus einer Vielzahl von ebenen Flächen zusammengesetzt werden. In anderen Bereichen der Computergraphik können oft andere Beschreibungsformen für Objekte genutzt werden. Für Computeranimationen oder im Designbereich werden oft mathematische Beschreibungen von Körpern eingesetzt, da diese organische und runde Formen sehr gut beschreiben können und auch bei extremen Nahaufnahmen noch rund wirken. Bei medizinischen Anwendungen setzt man dagegen oft Volumenbeschreibungen ein. Da meistens entweder das Modellierungssystem, die eingesetzten Konverter oder das VR System selbst eine Umwandlung in Polygone unterstützen, können diese Beschreibungsformen trotzdem für die Modellierung genutzt werden.

**Vorbereitungsphase** Je besser man sich vor der eigentlichen Modellierung vorbereitet, desto schneller und einfacher hat man es später. Wichtig ist es hierbei, sich einen guten Überblick über das Szenario zu verschaffen. So kann man schnell entscheiden, welche Objekte, z.B. in der eigenen Objektsammlung, schon vorhanden sind, und welche Objekte noch benötigt werden. Danach kann man sehen, aus welcher Quelle man die benötigten Objekte am Schnellsten bekommt. Leider ist es in Virtuellen Welten selten möglich ein exaktes Storyboard zu erstellen. In einer Computeranimation wird durch das vor dem Beginn der Modellierung und des Filmens erstellte Storyboard genau beschrieben, wann welche Objekte aus welcher Perspektive sichtbar sind. Dadurch kann man von vornherein genau entscheiden, welche Objekte man in welcher Qualität benötigt und aus welchem Blickwinkel sie gut aussehen müssen. Da der Besucher einer Virtuellen Welt meist selbst entscheiden kann, was er wie sehen will, entfällt diese Möglichkeit der Einschränkung. Trotzdem hilft ein Storyboard dabei sich einen Überblick über die Szene zu verschaffen und die benötigten Objekte zumindest etwas einzuschränken.

Der nächste wichtige Punkt ist die Datenakquisition. Je vielfältiger und kompletter das gesammelte Datenmaterial ist, desto schneller und genauer können die Modelle erstellt und die Szene zusammengestellt werden. Benötigt werden vor allem Daten, die eine genaue räumliche Beschreibung des Objekts liefern, dies sind in erster Linie Pläne, Zeichnungen und CAD Daten der Objekte. Ergänzend hierzu können Photos und textuelle Beschreibungen nützlich für das Modellieren sein, vor allem, um Unklarheiten in den anderen Beschreibungsformen zu beheben oder Texturen zu erzeugen.

**Modellierung** Bei der Modellierung von dreidimensionalen Objekten existieren zwei unterschiedliche Ansätze: Volume Modeling und Surface Modeling [FvDFH95]. Im Volume Modeling werden Körper über ihr Volumen beschrieben. Diese Methode bietet in einigen Bereichen Vorteile, so z.B. bei einer physikalischen Simulation. Beim Surface Modeling werden nur die Oberflächen der Körper beschrieben. Diese Oberflächen müssen nicht zwingend einen geschlossenen Körper beschreiben. Es existieren verschiedene Verfahren, um diese Oberflächen zu definieren, u.a. Polygon Netze und Parametrische Oberflächen. Für das Rendering der Szene benötigt die Graphikhardware Polygon Netze, alle anderen Beschreibungsformen müssen vorher in diese Darstellungsform umgewandelt werden. Diese Umwandlung kann im Modellierungssystem vor dem Export, bei der Konvertierung in das Dateiformat des VR Systems oder vor dem Rendering geschehen. Modellierungsprogramme unterstützen meist verschiedene Verfahren zur Objektbeschreibung, so dass man sich das geeignetste für die Modellierung aussuchen kann.

Zum Erstellen von 3D Modellen existiert eine Vielzahl von Werkzeugen. Viele dieser Pro-

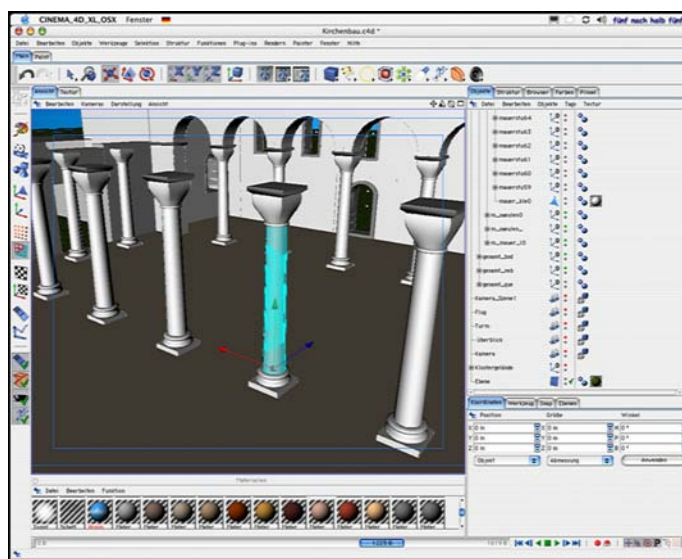


Abbildung 5.3: Aufbau einer dreidimensionalen Szene in Cinema 4D

gramme kommen aus den Bereichen CAD und Computeranimation. Außerdem gibt es sehr viele Speziallösungen, welche meist auf eine sehr spezielle Aufgabe zugeschnitten sind. Zu nennen sind hier z.B. Landschafts- und Pflanzengeneratoren.

Es soll hier keine Einführung in die Vorgehensweise bei der Modellierung von dreidimensionalen Objekten gegeben werden. Dazu ist dieses Thema zu komplex und zu stark von der eingesetzten Software abhängig. Es sollen vielmehr die Besonderheiten der Erstellung von Szenen für Virtuelle Umgebungen angesprochen werden.

Ziel der Modellerstellung ist es eine Repräsentation dreidimensionaler Objekte zu erstellen, welche eine interaktive und echtzeitfähige Darstellung einer Virtuellen Umgebung mit hoher visueller Qualität ermöglicht. Hierbei ist meist ein Kompromiss zu finden zwischen hoher visueller Qualität, was meist hohe Komplexität der Modelle bedeutet, und der Echtzeitdarstellung.

Man beginnt die Modellierung meist mit den wichtigen, großen Objektteilen, wie z.B. Gebäudearchitektur, und verfeinert die Objekte schrittweise. Durch diese Vorgehensweise hat

man eine gute Kontrolle über die Detaillierungsstufen.

Schon während der Modellierung ist der Aufbau einer guten Szenenhierarchie wichtig. Durch eine klare Gliederung der Objekte wird die Übersicht über die Szene erleichtert und der Arbeitsfluss gesteigert. Da diese Hierarchie normalerweise auch die Grundlage für den Szenengraphen bildet, kann man hiermit auch Einfluss auf den Aufbau desselben ausüben. Ebenso wie auf die Szenenhierarchie sollte auf eine sinnvolle Namensgebung geachtet

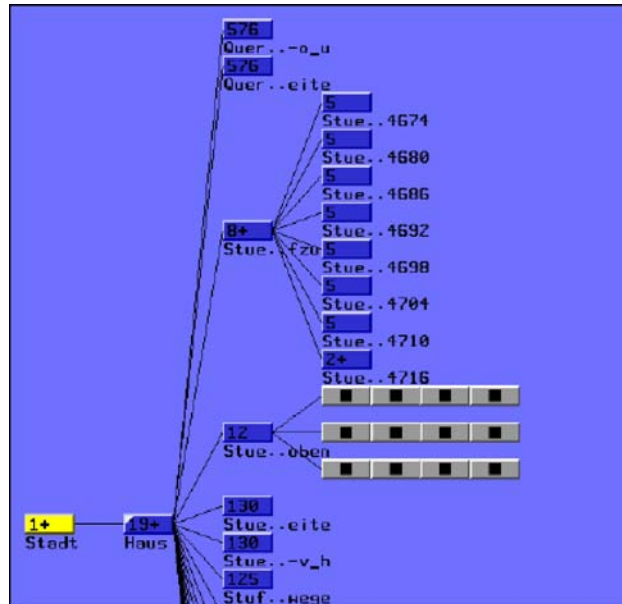


Abbildung 5.4: Szenenhierarchie

werden. Modellierungsprogramme verteilen zwar normalerweise automatisch eindeutige Namen für neu erzeugte Objekte, diese bezeichnen aber meist nur die Grundform des Objekts (Würfel-01, Würfel-02, ...). Sinnvoller ist aber eine Bezeichnung nach Bauteil oder Funktion einzuführen (Avatar1-Arm-Rechts, Avatar1-Arm-Links, ...). Dies erleichtert das Arbeiten mit diesen Objekten, vor allem, wenn mehrere Modellierer mit einer Szene arbeiten. Eine weitere Bedeutung erhalten diese Namen im VR System bei der Interaktion, da man so die Objekte über diesen Namen ansprechen kann und somit auch hier die Übersicht verbessert wird.

Besonderes Augenmerk muss auf die Korrektheit der Szene gelegt werden. Da hardware-unterstütztes Rendering normalerweise nicht so flexibel ist wie Softwarerendering, unterliegen die Modelle sehr vielen Einschränkungen. Ebenso müssen die Besonderheiten des VR Systems, vor allem für die Interaktion, und des Simulationssystems beachtet werden. Viele Darstellungsfehler, die in der Echtzeitdarstellung auftreten, werden vom Software-rendering des Modellierungssystems korrekt dargestellt. Einige dieser Fehler lassen sich bei der Modellierung daher nur schwer sehen. Deshalb ist eine genaue Kenntnis der Möglichkeiten und Einschränkungen aller eingesetzten Hard- und Software wichtig.

Einige der häufig auftretenden Probleme und Einschränkungen seien hier aufgeführt:

**Flächen- / Eckpunktnormalen:** Die Flächen- oder Eckpunktnormalen der Modelle werden für viele Zwecke benutzt. Der wichtigste Punkt ist hier wohl die Beleuchtungsberechnung. Aus dem Winkel zwischen der Normalen und dem Vektor zur Licht-

quelle sowie den Materialeigenschaften wird die Helligkeit und Farbigkeit der Oberfläche bestimmt. Die Ausrichtung der Normalen wird auch dazu benutzt, um bei Backface Culling festzustellen, ob eine Fläche gezeichnet werden muss oder nicht. Ebenso werden Normalen oft auch für Simulationen benötigt. Stimmt die Ausrichtung der Normalen nicht oder zeigt sie gar in die entgegengesetzte Richtung, so entstehen auch in der Darstellung und Simulation Fehler (vgl. Abbildung 5.5).

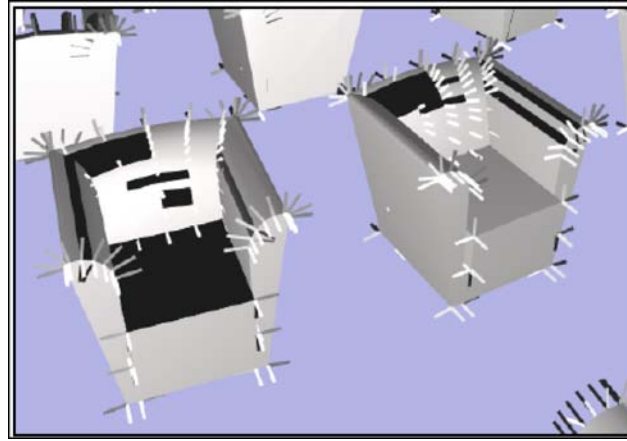


Abbildung 5.5: Falsch ausgerichtete Eckpunktnormalen

**Z-Buffer Genauigkeit:** Die Tiefe jeder gezeichneten Fläche wird für jeden bisher berechneten Bildpunkt in einem speziellen Speicher abgelegt. Dieser Z-Buffer wird benutzt, um zu entscheiden, ob eine später zu zeichnende Fläche vor oder hinter der schon gezeichneten Fläche liegt, d.h. ob diese Fläche gezeichnet werden muss oder nicht. Da dieser Speicher nur eine feste Auflösung besitzt (16 - 32 Bit) kann es passieren, dass die Genauigkeit dieses Speichers nicht ausreicht. Besonders bei sehr großen Szenen, z.B. Landschaften, die auch kleine Objekte enthalten, tritt dies oft auf. Ebenso bei Flächen, die exakt aufeinander liegen, wie z.B. ein Blatt Papier auf einem Schreibtisch. Ist die Auflösungsgrenze des Z-Buffers erreicht, werden, bedingt durch Rundungsfehler in der Berechnung des Tiefenwertes, mal Teile der einen Fläche, mal Teile der anderen Fläche gezeichnet (vgl. Abbildung 5.6). Bei Bewegung der Kamera oder der Objekte entsteht somit ein starkes Flackern, das sehr störend wirkt.

Vermieden werden können solche Effekte teilweise durch die Einschränkung des Z-Buffer auf die minimal möglichen Werte, das Einschalten von Backface Culling und das Vermeiden von direkt aufeinander liegenden Flächen. Einige Renderer bieten die Möglichkeit die Zeichenreihenfolge der Polygone zu sortieren, aktiviert man diese Funktion bei kritischen Flächen so kann der Effekt vermieden werden.

**Texturen:** In den meisten VR Szenen wird eine Vielzahl von Texturen eingesetzt. Meist ist die Anzahl, die Größe und die Art der von der Hardware unterstützten Texturen eingeschränkt. Dies kann zur Folge haben, dass man die spätere Texturierung schon während des Modellierens beachten muss. Da die Hardware normalerweise nur eine eingeschränkte Anzahl Texturen pro Objekt unterstützt, bei älteren Systemen meist



Abbildung 5.6: Z-Buffer Probleme

sogar nur eine einzige Textur, muss man gegebenenfalls ein Objekt in mehrere Objekte aufteilen, um es mit mehreren Texturen belegen zu können. Ebenso sind die maximal mögliche Auflösung der Texturen und die Größe des vorhandenen Texturspeichers zu beachten.

**Einschränkungen bei der Definition der Flächen:** Je nach eingesetzter Hard- und Software kann es zu Einschränkungen in der Art der möglichen Polygone kommen. So kann es Einschränkungen in der Anzahl der möglichen Eckpunkte, z.B. nur Drei- oder Vierecke, oder in der Polygonform geben, z.B. keine konkaven Polygone oder keine Löcher in den Flächen. Diese Einschränkungen können die Vorgehensweise während der Modellierung sehr stark beeinflussen.

**Optimierung** In vielen Fällen wird die Bildwiederholrate einer Virtuellen Welt durch die Anzahl der von der Hardware pro Sekunde darstellbaren Polygone bestimmt. Während der Modellierung ist daher sehr stark auf die Anzahl der sichtbaren Polygone zu achten. Dabei ist die Gesamtzahl der Polygone, aus der sich eine Virtuelle Welt zusammensetzt nicht ausschlaggebend, sondern die maximale Zahl der gleichzeitig sichtbaren Polygone. Da nur in den seltensten Fällen alle Flächen einer Virtuellen Welt sichtbar sind, meist liegt zumindest ein Teil der Umgebung außerhalb des Blickwinkels der Kamera oder ist aus sonstigen Gründen nicht sichtbar, kann die Gesamtzahl an Polygonen sehr hoch sein ohne die Bildwiederholrate zu mindern. Dennoch sollte man während der Modellerstellung darauf achten, jedes Objekt aus möglichst wenig Flächen zusammenzusetzen und unnötige Flächen zu vermeiden. Hierzu gibt es einige Möglichkeiten, welche entweder die Anzahl der Flächen eines Objektes verringern können oder es dem System ermöglichen viele Flächen bei der Darstellung einzusparen.

**Weglassen nicht sichtbarer Flächen:** Bei der Erstellung dreidimensionaler Objekte entstehen oft Flächen, die in der späteren Darstellung nicht sichtbar sind. Besonders CAD Daten aus Bereichen wie dem Automobilbau enthalten oft Objekte, die in der

späteren Darstellung nicht sichtbar sind, z.B. Bauteile im Inneren von Konsolen. Diese Flächen können, soweit sie auch für den Lehrinhalt unwichtig sind, weggelassen werden, ohne den visuellen Eindruck zu verändern.

**Einsatz von Level of Detail:** Die benötigte Anzahl von Flächen für eine ansprechende Darstellung von Objekten hängt sehr stark von der Entfernung des Objekts zur Kamera ab. Ist ein Objekt im Hintergrund zu sehen, d.h. es entspricht nur wenigen Pixeln in der Darstellung, genügen wenig Polygone, um dieses Objekt darzustellen. Kommt man näher an das Objekt heran, so werden immer mehr Details sichtbar und es werden mehr Polygone zur Darstellung benötigt. Dieser Effekt wird von den meisten VR Systemen ausgenutzt, um die Anzahl der sichtbaren Polygone in einer Szene zu reduzieren. Diese Systeme schalten automatisch zwischen verschieden hoch aufgelösten Modellen um, in Abhängigkeit von ihrem Abstand zur Kamera. Teilweise kann das Erstellen der reduzierten Modelle automatisch geschehen, indem man, ausgehend von einem hochauflösten Modell, die Anzahl der Polygone mittels spezieller Algorithmen schrittweise reduziert. Einige Verfahren, wie z.B. Subdivision Surfaces, erlauben auch die Veränderung der Komplexität während der Laufzeit.

**Strukturierung:** Durch eine geeignete Strukturierung der Szene kann man erreichen, dass das VR System sehr effektiv unnötige Objekte ausschalten kann, d.h. diese nicht rendern muss. Ist die Hierarchie für ein Gebäude z.B. so aufgebaut, dass jedes Stockwerk alle Räume auf diesem Stockwerk als Unterobjekte besitzt und jeder Raum alle in ihm enthaltenen Objekte, so können beim Betreten eines Stockwerks alle anderen Stockwerke ausgeschaltet werden. Ebenso können alle anderen Räume beim Betreten eines Raumes ausgeschaltet werden, soweit es keine Verbindung zwischen diesen gibt, wie z.B. offene Türen oder Fenster. Dieses Umschalten erfolgt meist über vorher festgelegte Schalter, sogenannte Portale, bei deren Durchschreiten ein Teil der Szene aktiviert und ein anderer Teil deaktiviert wird. Eine solche Struktur ermöglicht es dem VR System auch sehr effektiv zu erkennen, welche Objekte im Blickwinkel der Kamera sind und welche nicht. Durch dieses View Frustum Culling genannte Verfahren werden nur solche Teile der Szene berechnet, die auch von der Kamera erfasst werden können.

**Einsatz von Smooth Shading:** Da die Hardware nur ebene Flächen darstellen kann, müssen gekrümmte Flächen durch vielen kleine Ebenen approximiert werden. Dadurch werden für nicht ebene Oberflächen entsprechend viele Flächen benötigt. Diese Annäherung ist besonders dadurch sichtbar, dass normalerweise pro Fläche nur ein Helligkeitswert in Abhängigkeit des Winkels der Flächennormale zur Lichtquelle berechnet wird. Nimmt man nicht einen Wert pro Fläche sondern interpoliert mehrere dieser Werte, beim *Gouraud Shading* [Gou71] nutzt man hierzu die Eckpunktnormalen der Fläche, so erhält man einen weichen Übergang der Helligkeitsverteilung, was die Oberfläche runder erscheinen lässt (vgl. Abbildung 5.7). Durch dieses Verfahren kann man runde Oberflächen durch sehr wenige Flächen annähern. Problematisch ist nur, dass die Silhouette des Objekts nicht gerundet wird, man dort also immer noch die geringe Auflösung erkennt.



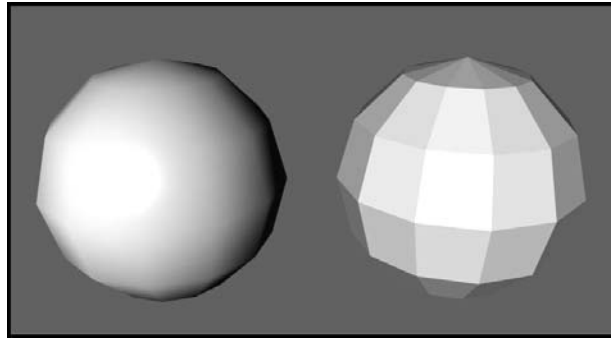


Abbildung 5.7: Unterschied zwischen Gouraud Shading und Flat Shading

**Einsatz von Texturen:** Der Einsatz von Texturen erhöht die visuelle Qualität einer Szene stark, ohne ihre Komplexität übermäßig zu erhöhen. Für viele Eigenschaften eines Objekts sind Texturen die einzige Möglichkeit, um sie darzustellen. Gemasertes Holz oder Gemälde lassen sich so gut wie nicht als Modell erstellen, so dass man hier gezwungen ist Texturen zu nutzen. Vor allem flächige Objekte lassen sich sinnvoll durch Texturen ersetzen, aber auch Details auf komplexen Objekten können so dargestellt werden. Oft werden Texturen auch als letzte Stufe von Level of Detail Objekten eingesetzt. Beherrscht das System die Verarbeitung von Texturen mit Transparenzkanal, so können auch Objekte mit komplexen Umrissen oder Löchern durch wenige Flächen dargestellt werden, indem man bestimmte Teile der Flächen als transparent definiert.

**Erstellen der Texturen** Selbst mit sehr detailliert modellierten Objekten lässt sich meist keine realistische Szene erstellen. In der Realität findet man vielfältige geometrische Formen und physikalische Muster [ESK97]. Diese aus einfarbigen Flächen zu erzeugen ist normalerweise nicht möglich. Daher benötigt man für eine photorealistische Darstellung Texturen. Durch sie lassen sich Dinge wie Eigenschaften von Materialien, Beleuch-

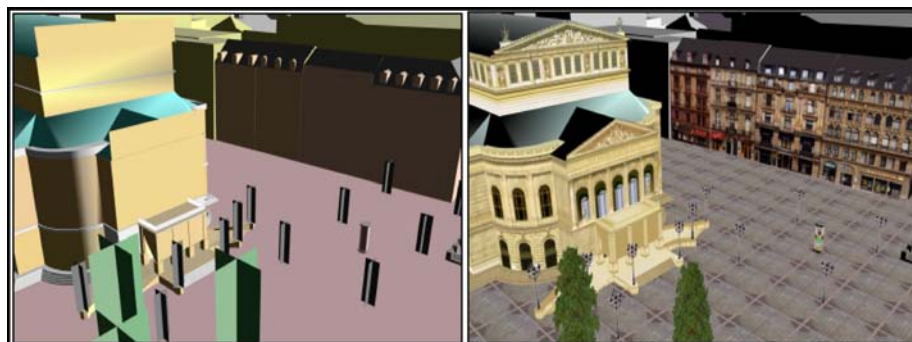


Abbildung 5.8: Vergleich zwischen untexturierter und texturierter Szene

tungsverhältnisse und zeitliche Veränderungen sehr einfach darstellen. Es gibt sehr viele verschiedene Arten von Texturen, wobei in der Echtzeitcomputergraphik nur einige dieser Arten eingesetzt werden können, da nicht alle von der Graphikhardware unterstützt werden. Grundsätzlich sind zwei Formen von Texturen zu unterscheiden: Bitmap Textu-

ren und prozedurale Texturen. Lange Zeit waren Bitmaps die einzige Möglichkeit Texturen in Virtuellen Umgebungen zu nutzen. Grundlage für die Texturierung bildet hier eine Bilddatei welche auf die einzelnen Flächen eines Objekts projiziert wird. Hierzu werden jedem Eckpunkt einer Fläche Koordinaten im Koordinatensystem der Textur zugeordnet (vgl. Abbildung 5.9). Prozedurale Shader berechnen das Aussehen der Oberfläche mittels spezieller Algorithmen. Dies hat den Vorteil, dass die Oberflächen variantenreicher sind, sich also nicht wiederholen, und dass auch bei Nahaufnahmen noch Details dargestellt werden können, es also keine Probleme durch Auflösungsbeschränkungen gibt. Erst neue Hardware ermöglicht es solche prozeduralen Shader durch den Einsatz von hardwarebeschleunigten Pixelshadern auch in Echtzeitumgebungen einzusetzen, dies aber noch in sehr eingeschränkter Form. In diesem Bereich ist eine rasante Entwicklung zu beobachten, so dass vermutet werden kann, dass zukünftige Virtuelle Welten diese Möglichkeiten verstärkt nutzen werden.

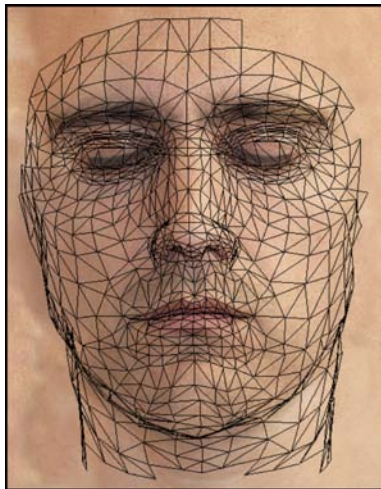


Abbildung 5.9: Zuordnung von Flächen zu Texturausschnitten mittels UV Mapping

### 5.1.1.2 Der Einsatz von Higher-Order-Primitives am Beispiel von Subdivision Surfaces

Da Polygonmodelle in ihren Einsatzmöglichkeiten oft sehr eingeschränkt sind und da sich einige Ziele mit anderen Beschreibungsarten schneller erreichen lassen, versucht man immer mehr Beschreibungsformen in VR Systemen zu integrieren. Beispiele für solche Beschreibungsformen sind u.a. NURBS, Subdivision Surfaces oder Volumen Objekte. Das VR System bietet dann Loader für diese Modelle und kann intern, z.B. für die Simulation, auch mit dieser Beschreibungsform arbeiten. Da die Hardware aber nur Polygonmodelle unterstützt, müssen diese Modelle vor dem Rendering erst vom System in Polygonmodelle umgewandelt werden. Higher-Order-Primitives enthalten meist Informationen über ihren Aufbau, wie z.B. mathematische Beschreibungen. Dadurch sind sie nicht wie Polygonmodelle in ihrer Auflösung beschränkt und es lassen sich viele Operatoren, z.B. boolesche Operatoren, einfacher auf solche Beschreibungen anwenden.

Eine mögliche Beschreibungsform für solche „Higher-Order-Surfaces“ sind z.B. Subdivisi-

on Surfaces [Fei02]. Diese erleichtern viele Arbeitsschritte innerhalb einer Virtuellen Welt, z.B. können aus ihnen automatisch Level of Detail Objekte erzeugt werden. Dies vereinfacht die Erstellung und das Verändern von VR Szenen, vor allem für ungeübte Benutzer. Ein grosser Vorteil von Subdivision Surfaces ist, dass sie aus Polygonen bestehen, d.h. sie müssen nicht mehr umgewandelt werden, sondern können direkt an die Graphikhardware übergeben werden. Subdivision Surfaces sollen hier als Beispiel für solche Higher Order Primitives dienen und im Folgenden näher erläutert werden.

**Theoretische Grundlagen zu Subdivision Surfaces** Subdivision Surfaces sind Gitternetze, die nach mathematischen Vorschriften, den Unterteilungsregeln, aus einem groben Kontrollgitter errechnet werden. Dabei wird das Kontrollgitter verfeinert und verzerrt. Wendet man diese Vorschriften rekursiv auf die neu gewonnene Gitterstruktur an, so nähert sich das Gitter mehr und mehr einer gerundeten und glatten Grenzfläche an. Die Unterteilungsregeln müssen so gestaltet sein, dass sich eine gute Annäherung an die Grenzfläche und die somit erzielt Glättung nicht erst nach sehr vielen Unterteilungsschritten, sondern schon nach wenigen Schritten einstellt.

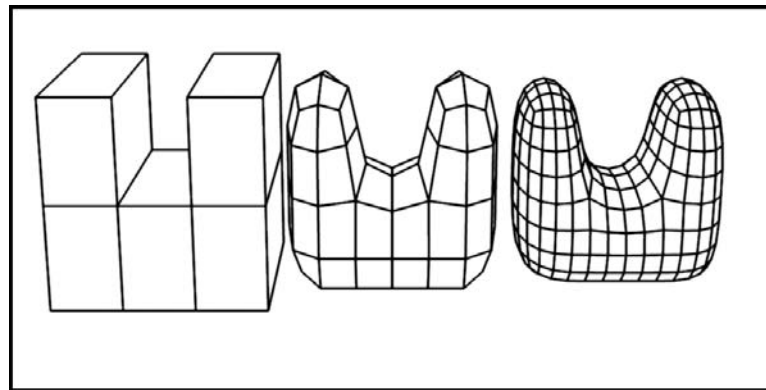


Abbildung 5.10: Subdivision Surface (Kontrollgitter, erste und zweite Unterteilung)

**Kategorisierung von Subdivision Surfaces** Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Subdivisionverfahren entwickelt. Diese unterscheiden sich in den erzielten Ergebnissen und den Voraussetzungen die die Kontrollgitter erfüllen müssen. Folgende grundlegenden Unterscheidungsmerkmale charakterisieren die unterschiedlichen Algorithmen:

**Netzstruktur:** Die Unterteilungsregeln der verschiedenen Subdivision-Verfahren arbeiten normalerweise auf Drei- bzw. Vierecksnetzen. Grundsätzlich lässt sich aber auf jedem beliebigen Netz eine Subdivision durchführen. Dafür muss nur ein zusätzlicher Schritt zu Beginn eingefügt werden, der das Netz trianguliert oder in ein Vierecksnetz überführt. Somit ist diese Einschränkung der unterschiedlichen Verfahren keine Beschränkung im Modellierungsprozess.

Wichtig ist noch zu betonen, dass die beiden Unterteilungsschemata die mit Vierecksnetzen arbeiten (Catmull-Clark [CC78] und Doo-Sabin) auch mit beliebigen Polygonen als Eingabedaten arbeiten können, ohne diese zuerst in Vierecksnetze umwandeln zu müssen. Die Kontrollnetze brauchen sogar noch nicht einmal mit Polygonen gleicher Ordnung (also nur Dreiecken, nur Vierecken, usw.) zu arbeiten,

sondern können aus Dreiecken, Vierecken, usw. in gemischter Form bestehen. Allerdings liefern sie mit reinen Vierecksnetzen als Eingabe optisch ansprechendere Ergebnisse als mit inhomogenen Polygonen.

Bei den Netzen unterscheidet man geschlossene und offene Netze. Geschlossene Netze bilden eine in sich geschlossene Oberfläche ohne Löcher, während offene Netze eine offene Oberfläche besitzen. Knoten, die sich an Rand eines offenen Netzes befinden, nennt man *extraordinäre Knoten*, sie verlangen nach neuen Regeln für die Unterteilung, um auch solche Fälle erfolgreich behandeln zu können.

**Strategie:** Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal der einzelnen Algorithmen ist die Strategie, die von den unterschiedlichen Verfahren angewendet wird. Möglich ist dabei entweder Knoten oder Kanten zu teilen. Die Mehrzahl der bekannten Verfahren verfolgt dabei die Strategie der Kantenteilung. Catmull-Clark-, Loop- und (modifiziertes) Butterfly-Schema benutzen alle die Kantenteilung, um eine weitere Unterteilungsstufe zu erzeugen.

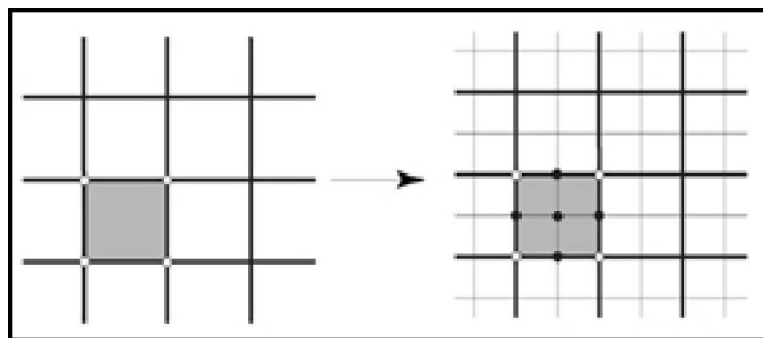


Abbildung 5.11: Kantenteilung / Edge-Split

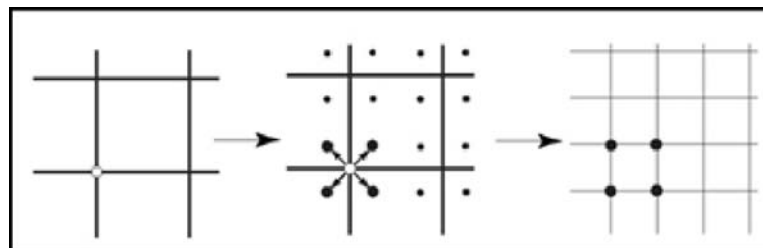


Abbildung 5.12: Knotenteilung / Vertex-Split

**Interpolation vs. Approximation** Der größte sichtbare Unterschied in der Strategie der Unterteilungsschemata besteht darin, ob das Verfahren interpoliert oder approximiert angewendet wird. Groß ist der Unterschied besonders deshalb, weil sich die Ergebnisse auf gleichen Ausgangsnetzen erheblich unterscheiden. Während bei der Interpolation nur die neu eingefügten Punkte eine an die Grenzfläche angenäherte Lage erhalten, wird bei der Approximation allen Punkten, sowohl alten als auch neuen, eine neue Lage zugewiesen. Wie in Abbildung 5.13 deutlich zu sehen ist, unterscheiden sich die Ergebnisse der beiden Verfahren deutlich. Während die Form des

Kontrollgitters bei interpolierten Objekten auch nach mehreren Unterteilungen noch erkennbar ist, unterscheiden sich die approximierten Objekte wesentlich in Form und Größe vom Kontrollgitter. Es ist also wesentlich einfacher die Form und Größe einer interpolierenden Subdivision vorauszusagen, was wichtig z.B. für die Erstellung von Level of Detail Objekten ist. Dafür liefern die approximierenden Schema dank ihrer faireren Teilung schönere, d.h. glattere Flächen.

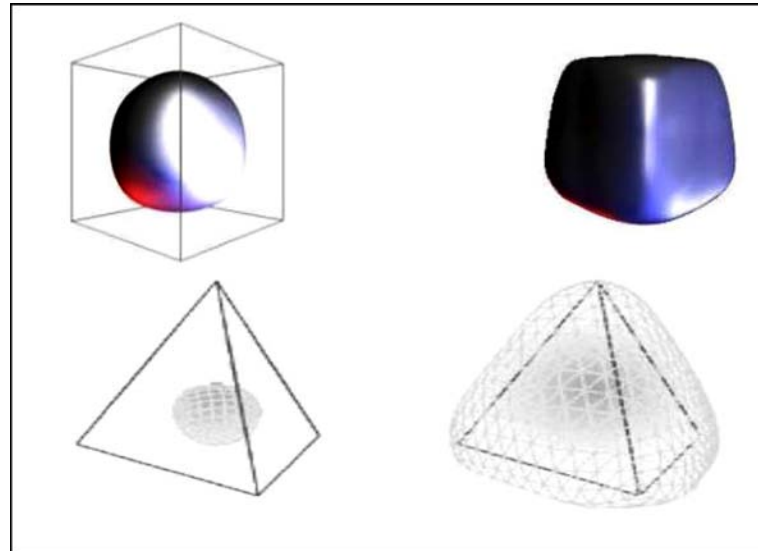


Abbildung 5.13: Vergleich zwischen den Ergebnissen eines approximativen (links) und eines interpolativen (rechts) Verfahrens

**Erläuterung des Verfahrens von Catmull-Clark** Am Verfahren von Catmull-Clark sollen die einzelnen Schritte zu einer Subdivision Surface erläutert werden. Die Wahl fällt dabei auf ein Verfahren, das auf Vierecken arbeitet und nicht auf reinen Dreiecksnetzen. Das hängt vor allem mit dem Verwendungszweck zusammen. Der Natur nachempfundene Modelle, wie Arme, Finger usw., sind wesentlich besser aus Vierecken zu modellieren. Verbleibende Polygone, die keine Vierecke bilden, kann man allerdings noch umwandeln. Dadurch bekommt man visuell ansprechendere Ergebnisse.

Einführend ein paar Worte zur Notation. Prinzipiell werden zwei Beschreibungsmöglichkeiten für Unterteilungsregeln verwendet:

- Formelmäßige Beschreibung
- Stencilmaskenbeschreibung

Zur formelmäßigen Beschreibung gibt es einige festgelegte Symbole. Flächenpunkte (*faces*) werden mit  $f$ , Kanten (*Edges*) werden mit  $e$  und Eckpunkte (*Vertices*) mit  $v$  bezeichnet. Die Formeln beschreiben die Berechnung neuer Punkte und Kanten, die zu neuen Flächen verbunden werden. Die Indizes  $i$  und  $j$  geben Hinweise auf die Generation ( $i$ ) und die aktuelle Nummer ( $j$ ).

Die zweite Beschreibungsmöglichkeit für Subdivision Surfaces arbeitet mit einer Stencil-Maske und positiven Vertex-Gewichten. Diese Beschreibungsform ist wesentlich beliebter

als die formelmäßige Beschreibung, weil man damit die einzelnen Subdivision-Schemata auf einfache Art und Weise miteinander vergleichen kann.

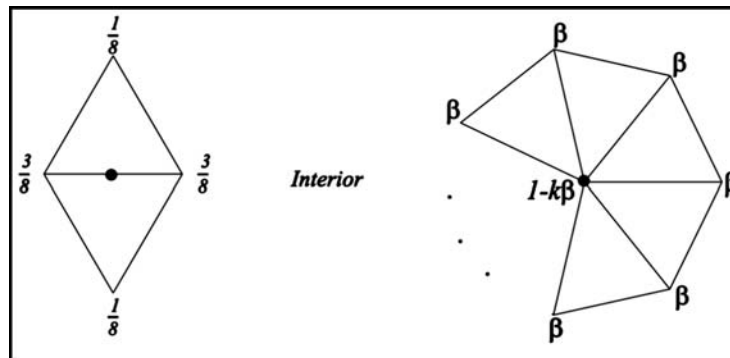


Abbildung 5.14: Beschreibung mittels Stencil-Maske (Loop-Schema)

### Die Unterteilungsregeln von Catmull-Clark

Name	Catmull-Clark-Schema
Typ	Approximierend; Flächenteilend
Netztyp	Vierecksnetze (Polygonale Netze, auch gemischt)
Stetigkeitstyp	$C^2$

Hat man ein Kontrollgitter eines Modells, kann man die oben erwähnten Unterteilungsschritte durchführen. Dabei setzt sich jeder Teilungsschritt wieder aus drei Teilschritten zusammen.

1. **Face Vertices:** Dieser erste Schritt ist sehr einfach. Es werden die umliegenden Eckpunkte des Vielecks addiert und gemittelt. So erhält man den Mittelpunkt eines konvexen Vielecks (Abbildung 5.15). Vor der ersten Subdivision des Kontrollgitters kann es noch verschiedene Polygone (Dreieck, Vierecke, Fünfecke) geben. Nach der ersten Subdivision erhält man nur noch Vierecke.

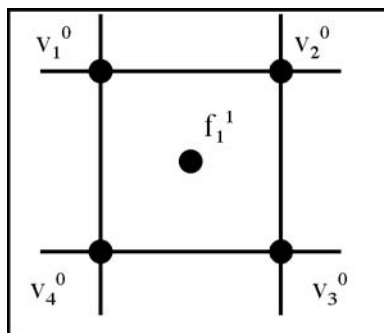


Abbildung 5.15: Berechnung eines neuen Face Vertex

2. **Edge Vertices:** Als Nächstes werden alle Kanten geteilt und sogenannte Edge Vertices eingefügt. Dabei kommt die folgende Rechenvorschrift zum Einsatz. Graphisch

ist das in Abbildung 5.16 veranschaulicht. Dabei werden Anfangs- und Endpunkt einer Kante mit den Flächenpunkten der beiden adjacenten Flächen verrechnet und geviertelt.

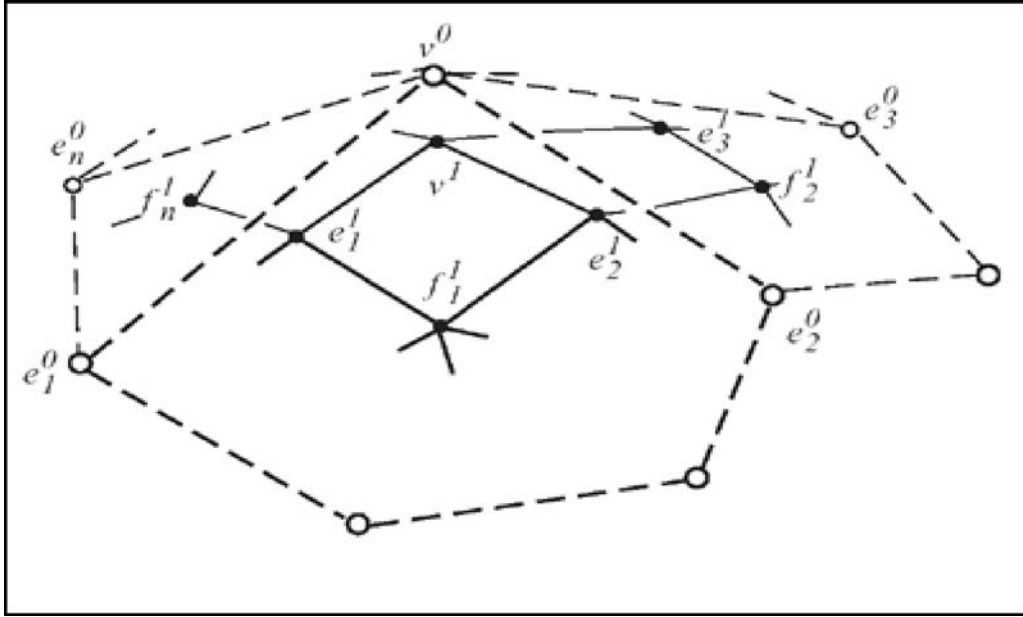


Abbildung 5.16: Lage von Edge und Control Vertices

$$e_j^{i+1} = \frac{v^i + e_j^i + f_{j-1}^{i+1} + f_j^{i+1}}{4} \quad (5.1)$$

3. **Control Vertices:** Zum Schluss fehlen noch die Kontrollpunkte, die das ursprüngliche Kontrollgitter beschreiben. Da Catmull-Clark ein approximierendes Schemata ist, muss auch seine Lage angepasst werden. Dies geschieht durch den 3. Teilschritt, bei dem die Formel 5.2 auf die Kontrollpunkte angewendet wird.

$$v^{i+1} = \frac{n-2}{n} v^i + \frac{1}{n^2} \sum_j e_j^i + \frac{1}{n^2} \sum_j f_j^{i+1} \quad (5.2)$$

Das Ergebnis erkennt man wiederum in Abbildung 5.16. Der neue Vertexpunkt wird aus dem alten Vertexpunkt und den umliegenden Edge-Punkten und Face-Punkten berechnet. Alle vorangegangenen Formeln beziehen sich auf Punkte im Inneren eines Gitters. Nicht beachtet wurden Randpunkte an Kanten des Netzes. Für diese Randpunkte gibt es gesonderte Regeln:

$$v^{i+1} = \frac{e_j^i + 6v^i + e_k^i}{8} \quad (5.3)$$

Für eine umfassendere Übersicht der Regeln des Catmull-Clark Schemas siehe unter anderem Catmull and Clark [CC78]. Weitere Informationen zum Catmull-Clark-Schema findet man in [DKT00], [CC78], [Zor00], [Sha00] und [WP01].

**Erweiterte Beschreibungen** Eine der Eigenschaften von Subdivision Surfaces ist es, nach wenigen Unterteilungen gerundete Objekte zu erhalten. Oft ist dies aber nicht für alle Kanten eines Objekts gewünscht. Um scharfe oder halbscharfe Kanten zu erhalten, muss die Beschreibung von Subdivision Surfaces daher erweitert werden.

Scharfe Kanten bedeuten, dass bestimmte Kanten einfach von der Unterteilung ausgeschlossen und somit nicht gerundet werden. Um diese Effekte zu erhalten, sind mehrere Wege denkbar. Zum Einen könnte man neue Regeln mit parametrisierbaren Gewichten aufstellen. Dies würde aber zu wesentlich mehr Regeln führen und auch die Definition der Regeln wäre alles andere als trivial. Die zweite Möglichkeit führt zu einer hybriden Subdivision mittels halbscharfer Kanten (*semi-sharp creases*). Ein Problem dabei ist, dass das Hinzufügen neuer Regeln für scharfe bzw. halbscharfe Kanten zu einer Änderung der Stetigkeit des Schemas führen kann, da dann genau die Sprünge und Kanten in der Oberfläche vorhanden sind, die eigentlich durch das SDS verhindert werden sollten.

Halbscharfe Kanten (Semi-Sharp Creases) sind eine Zwischenstufe zwischen normalen „weichen“ Kanten, die jedes mal unterteilt werden, und scharfen Kanten (Sharp Creases), die überhaupt nicht unterteilt werden. Die vorher erwähnten scharfen Kanten können so erweitert werden, dass man auch halbscharfe Kanten erhält, d.h diese Kanten werden nicht völlig von allen Unterteilungsschritten ausgeschlossen, sondern nur einer bestimmten Anzahl von Unterteilungen ausgesetzt. Umgesetzt werden diese dann folgendermaßen: Semi-Sharp Creases gehen von der Idee aus, dass man sich zusätzlich zu jeder Kante noch ein ganzzahliges Kantengewicht merkt. Hat eine Kante das Gewicht 0 wird sie wie bisher behandelt. Eine Kante mit Gewicht größer als 0 wird erst dann in die Verfeinerung einbezogen, wenn die Anzahl der Unterteilungen gleich ihrem Kantengewicht ist. Eine Kante mit Kantengewicht drei wird also erst beim dritten Verfeinerungsschritt miteinbezogen. Man kann das Kantengewicht natürlich auch auf unendlich stellen, wenn man eine völlig scharfe Kante haben möchte.

**Das Testsystem HYPE** Das Testsystem HYPE (HYPernurbs Editor) wurde entwickelt, um die Einsatzmöglichkeiten sowie die Vor- und Nachteile von Subdivision Surfaces zu untersuchen. Das System ermöglicht es durch eine Reihe von Editoren einfache Modelle zu erstellen oder 3D Modelle zu laden und diese mit verschiedenen Subdivision Surface Algorithmen zu unterteilen. Implementiert wurden vier Verfahren zur Erzeugung von Subdivision Surfaces. Bei der Entwicklung wurde auf eine einfache Erweiterbarkeit geachtet, um sowohl weitere Subdivision Verfahren als auch benötigte Editoren oder Dateiformate integrieren zu können. Die Loader Module ermöglichen es vorhandene Modelle zu laden und zu testen, ob sie sich als Kontrollgitter für Subdivision Surfaces eignen.

**Remesher:** Der Remesher wandelt das 3D Model in eine Subdivision Surface Struktur um. Dazu wird die Topologie der Geometrie erfasst und falls nötig eine Triangulierung durchgeführt.

**Modeler:** Das Modeler Modul ermöglicht eine Veränderung der gesamten Objekte oder markierter Teile derselben. Neben der Skalierung, Transformation und Rotation der Objekte können auch Löcher, scharfe und halbscharfe Kanten eingefügt werden.

**LOD Creator:** Das LOD Creator Modul erzeugt verschiedene Level of Detail Stufen eines Modells. Dabei werden statische und dynamische LOD Objekte unterstützt.



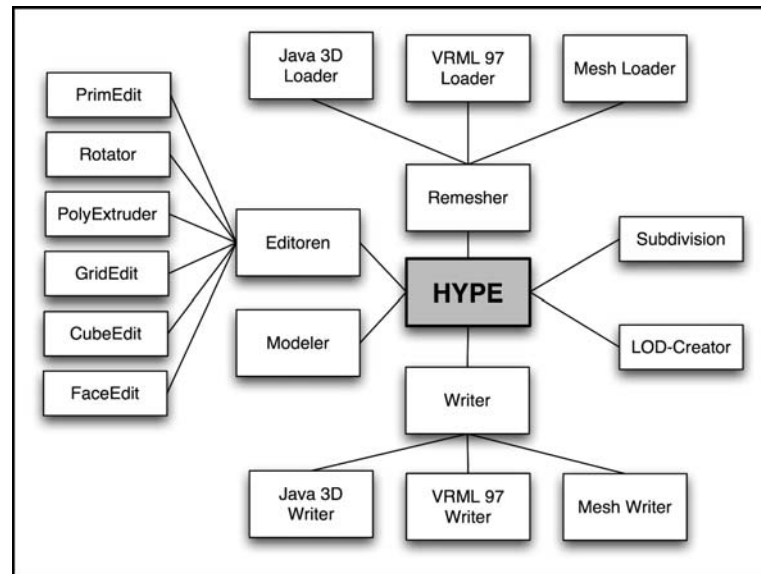


Abbildung 5.17: Die Module des Testsystems HYPE

**Loader/Writer:** Die Loader und Writer Modelle ermöglichen es fertige Objekte zu laden und zu speichern. Durch den Einsatz des Java 3D Loaders lassen sich u.a. auch DXF oder 3DS Dateien laden. Um auch Informationen über scharfe und halbscharfe Kanten speichern zu können, wurde das Datenformat MESH entwickelt.

**Editoren:** Die Editoren dienen dazu auf einfache und intuitive Weise geometrische Körper zu erzeugen. So ist es dem Anwender möglich sich eigene Testobjekt zu erstellen, z.B. falls keine fertigen Modelle verfügbar sind. So ist es u.a. möglich aus Linienzügen Extrusions- oder Rotationskörper zu erzeugen.

**Subdivision:** Das Subdivision Modul erzeugt aus den Kontrollgittern die Subdivision Unterteilungsschritte. In der vorliegenden Fassung sind die Subdivision Schemata von Catmull-Clark, Doo Sabin, Loop, Butterfly und modified Butterfly[Zor00] implementiert.

### 5.1.2 Framework für ein Autorensystem für Virtuelle Welten

Wie Abbildung 5.18 zeigt, sieht das Konzept eine dreiteilige Systemarchitektur vor. Als zentrale Stelle enthält das Kernsystem abstrahierte Schnittstellen, die den Zugriff auf Funktionalitäten zur Manipulation und Editierung einer virtuellen Welt ermöglichen. Der Kern ist derart konzipiert, dass er auch ohne GUI verwendet werden kann. Seine Funktionen realisiert er nicht selbst, sondern stattdessen eine konkrete Implementierung seiner abstrakten Schnittstellen. Diese Implementierung bedient sich dazu eines zugrundeliegenden VR-Systems.

Sofern möglich, werden die hier aufgeführten Konzepte grob in zwei Kategorien eingeteilt. Zum Einen werden die Funktionen und Anforderungen des Kernsystems betrachtet. Dieses stellt Basisfunktionalitäten zur Verfügung, die auch ohne graphische Benutzeroberfläche eingesetzt werden können bzw. unabhängig von dieser sind. Nach der Vorstellung

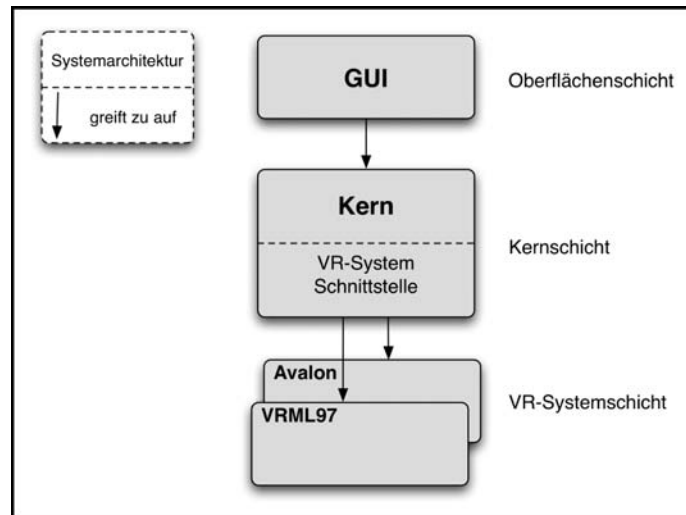


Abbildung 5.18: Architektur des Autorensystems

der Anforderungen und Konzepte des Kernsystems folgt eine Aufstellung der Konzepte, welche die graphische Benutzeroberfläche betreffen.

Die graphische Benutzeroberfläche wiederum setzt auf der abstrakten Schnittstelle des Kernsystems auf und ist somit unabhängig vom eingesetzten VR-System. Durch eine Implementierung der VR-System-Schnittstellen-Schicht für verschiedene Systeme, kann das Autorenwerkzeug zur Erstellung virtueller Welten für verschiedene VR-Systeme eingesetzt werden.

### 5.1.2.1 Das Kernsystem

Wie bereits im Kapitel 5.1.2 erläutert, besteht der Kern des vorgestellten Konzepts aus abstrakten Schnittstellen. Diese Schnittstellen ermöglichen den Zugang zu folgenden Funktionen:

- Welten laden und speichern
- Knoten/Komponenten erzeugen, einfügen, verschieben, löschen
- Knoten/Komponenten suchen
- Knoten/Komponenten editieren
- Routen erzeugen und editieren
- Vater von Knoten/Komponenten suchen
- Verwaltung von Bibliotheken
- Verwaltung der aktuellen Selektion
- Felder lesen/schreiben
- Undo

Diese Funktionen sollte der Kern unabhängig vom verwendeten VR-System zur Verfügung stellen. Da sich in neueren Systemen das Konzept des Szenengraphen etabliert hat, schlage ich vor das Authoringsystem auf dem Konzept des Szenengraphen aufbauen zu lassen. Im Rahmen dieses Konzeptes ist es unabhängig vom konkreten VR-System möglich, den Szenengraph und somit die virtuelle Welt, zu manipulieren.

### 5.1.2.2 Der Szenengraph

Das im vorherigen Abschnitt erwähnte Konzept des Szenengraphen findet sich u.a. auch in der Weltenbeschreibungssprache VRML97 oder in der Rendering-API OPENSF [Rei02]. Das Autorensystem muss in der Lage sein, einen Szenengraphen zu verwalten, der traversiert, visualisiert und manipuliert werden kann. Die Knoten innerhalb des Szenengraphen müssen in der Lage sein, Auskunft darüber zu geben, welche Felder in ihnen enthalten sind. Dabei muss sowohl der Feldname als auch der Feldtyp erfragbar sein. Des Weiteren muss ein Knoten die Möglichkeit zur Verfügung stellen, Felder über ihren Namen anzusprechen, d.h. diese entweder auszulesen oder beschreiben zu können. Die Unterscheidung zwischen privaten und öffentlichen, sowie Ein- und Ausgangsfeldern ist nur von untergeordneter Bedeutung. Unverzichtbar ist jedoch die Möglichkeit, die Menge der Knotentypen, um neue eigene Typen erweitern zu können.

### 5.1.2.3 Editoren im Überblick

Der Begriff des Editors bezeichnet im vorliegenden Konzept eine graphische Oberfläche zur Editierung eines Feldes, eines Knotens oder einer Komponente. Entsprechend dieser drei möglichen Objekttypen werden drei Arten von Editoren unterschieden:

- Feld-Editoren
- Generische Knoten-Editoren
- Spezialisierte Knoten-Editoren

Im folgenden werden die drei Arten von Editoren und ihr Verwendungszweck ausführlicher vorgestellt.

**Feld-Editoren** Da in den betrachteten VR-Systemen die Menge der Feldtypen festgelegt und nicht erweiterbar ist, kann zu jedem dieser Typen eine zugehörige standardisierte graphische Benutzeroberfläche, die der Visualisierung und Editierung der zugehörigen Feldwerte dient, realisiert werden. Jeder Feld-Editor besitzt ein Textfeld, das den Namen des jeweiligen Feldes darstellt. Neben dem Namen befinden sich schließlich die eigentlichen Bedienelemente für die Werte des Feldes. Dies sei am Beispiel des Feldtyps `SFColor` erläutert. Ein `SFColor` Feld enthält einen RGB-codierten Farbwert. Zur Darstellung und Editierung werden also jeweils ein Bedienelement für den Rot-, Grün- und Blauanteil benötigt. Neben den Bedienelementen für die drei Farbkomponenten, besitzt der Editor eines `SFColor` Feldes zusätzlich einen Knopf, der, wenn er gedrückt wird, einen Dialog zur Farbauswahl öffnet. Die einzelnen Komponenten der ausgewählten Farbe werden nach Betätigung des OK-Buttons in die RGB-Bedienelemente übernommen. Abbildung 5.19 zeigt eine mögliche Darstellungsform dieses Editors.



Abbildung 5.19: Beispielhafter Feld-Editor für SFColor

**Generische Knoten-Editoren** Im Gegensatz zur Menge der Feldtypen ist die Menge der Knotentypen in den betrachteten VR-Systemen nicht festgelegt. Darum ist es nicht möglich, für jeden Knotentyp einen speziell zugeschnittenen Editor zu implementieren. Da aber alle Knotentypen, seien sie fester Bestandteil des VR-Systems oder Erweiterungen desselben, aus Feldern bestehen, und die Menge der Feldtypen festgelegt ist (vgl. 5.1.2.3) kann zumindest ein sogenannter generischer Knoten-Editor realisiert werden. Ein generischer Knoten-Editor ermittelt dazu die Typen der in einem Knoten vorhandenen Felder, und erzeugt pro Feld einen zugehörigen Feld-Editor. Diese werden wiederum in einem Fenster untereinander aufgeführt und bilden so einen generischen Knoten-Editor. Abbildung 5.20 zeigt beispielhaft einen solchen Editor für einen Material-Knoten des VRML97-Standards. Der aus den Feld-Editoren zusammengesetzte Teil lässt sich im oberen Teil der Abbildung 5.20 erkennen. Neben den drei Feld-Editoren für SFColor-Felder (specularColor, emissiveColor und diffuseColor) sind noch mehrere weitere Feld-Editoren vom Typ SFFloat zu erkennen (transparency, shininess und ambientIntensity).

**Spezialisierte Knoten-Editoren** Durch die Verwendung der im vorherigen Abschnitt erläuterten generischen Knoten-Editoren kann zu jedem Knotentyp eine graphische Oberfläche zwecks Editierung zur Verfügung gestellt werden. Allerdings sind diese Editoren nicht sonderlich benutzerfreundlich, da sie automatisiert zusammengesetzt werden. Für bestimmte Knotentypen sieht das vorliegende Konzept deshalb speziell zugeschnittene Editoren, sogenannte spezialisierte Knoten-Editoren, vor. Wie der Name schon andeutet, arbeiten diese Editoren nur in Zusammenhang mit speziellen Knotentypen. Da im vorherigen Abschnitt die Feststellung gemacht wurde, dass die Menge der Knotentypen nicht festgelegt ist, stellt sich die Frage, welche Knotentypen von speziellen Knoten-Editoren Gebrauch machen sollen. Da in den betrachteten VR-Systemen und auch in vielen anderen, welche in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden, allgemeine Konzepte der graphischen Datenverarbeitung Anwendung finden, existiert eine gewisse Schnittmenge an Knotentypen, die all diesen Systemen gemein ist. Beispielhaft sei an dieser Stelle das Konzept des Materials aufgeführt. In vielen Systemen existiert ein Knotentyp Material, da ein Material ein zentrales Konzept der graphischen Datenverarbeitung darstellt. Ein weiteres Beispiel ist das der Transformation. Als eines der elementarsten Konzepte der Computergraphik findet sich selbiges in den betrachteten VR-Systemen, z.B. in Form des Transform-Knotentyps.

Spezialisierte Knoten-Editoren stellen somit eine benutzerfreundlichere Alternative zu den generischen Knoten-Editoren dar.

### 5.1.3 Ein Konzept für die Adaption von Verhaltensdefinitionen

Aus Erfahrungen mit Multimedia Lernprogrammen hat sich gezeigt, dass vorgefertigte Lernprogramme oft nicht eingesetzt werden, da der Inhalt nicht genau auf die Bedürfnisse

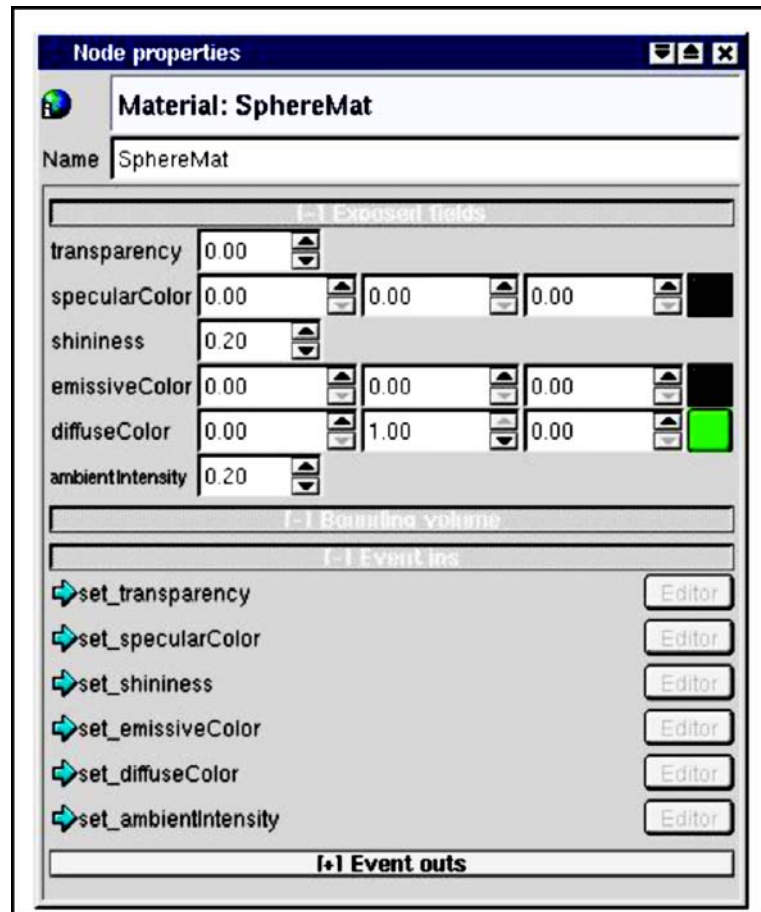


Abbildung 5.20: Beispielhafter generischer Knoten-Editor

der aktuellen Lernsituation angepasst ist. Unterschiede in der Zusammensetzung der Lerner, dem bisher behandelten Stoff oder anderen Rahmenbedingungen können geringfügige Änderungen notwendig machen. Daher ist es wichtig, dass der Lehrende solche Anpassungen in gewissem Masse selbst durchführen kann. Meist ließe sich die Welt recht einfach an diese individuellen Bedürfnisse anpassen, aber es existieren keine Werkzeuge um diese Anpassungen einfach ausführen zu können. Stehen geeignete Werkzeuge zum Editieren der Lernwelt zur Verfügung, so werden zum Anpassen des Objektverhaltens meist Programmierkenntnisse und ein Verständnis der Funktionsweise der Verhaltensbeschreibung nötig sein, welche von einem Lehrer nicht gefordert werden kann.

Der hier erläuterte Vorschlag für eine einfache Anpassbarkeit von Verhaltensbeschreibungen basiert auf der Idee das Verhalten über eine Zieldefinition an die Bedürfnisse des Lehrenden anzupassen. Hierzu bieten sich Genetische Algorithmen an, welche über die Fitnessfunktion eine Möglichkeit bieten die Qualität des Verhaltens zu bewerten.

### 5.1.3.1 Automatische Adaption von Verhaltensbeschreibungen mittels Genetischer Algorithmen

Genetische Algorithmen ermöglichen es eine Optimierung auf Grund von Bewertungsfunktionen durchzuführen. Der Benutzer definiert die Bedeutung verschiedener Effekte und das System versucht eine optimale Lösung zu finden, indem es das Verhalten verschiedener Varianten der Verhaltensbeschreibung bewertet und auf Basis dieser Bewertung neue Verhaltensbeschreibungen entwirft. Am Beispiel der Optimierung eines Fuzzy-Controllers für ein autonomes Fahrzeug sollen hier die Möglichkeiten dieses Verfahrens aufgezeigt werden.

Um ein vernünftig fahrendes Fahrzeug zu erhalten, definiert man Ziele wie:

- Fahre möglichst weit, ohne zu kollidieren.
- Halte möglichst viel Abstand zu anderen Objekten.
- Fahre möglichst wenig Kurven.
- ...

Diese Ziele können vom Anwender noch priorisiert werden, um die Optimierung zu beeinflussen. Für das Fahrzeug hätte das Ziel „*Fahre möglichst weit ohne zu kollidieren*“ eine höhere Priorität als das Ziel „*Fahre möglichst wenig Kurven*“. Benötigt man in der Virtuellen Lernwelt nun ein Fahrzeug mit einem betrunkenen Fahrer, so ist nur das Ziel „*Fahre möglichst wenig Kurven*“ zu ersetzen durch „*Fahre möglichst viele Kurven*“, dies kann auch erreicht werden, indem man den Einfluss des Ziels negativ bewertet. Die Optimierung kann auch noch nach weiteren Kriterien erfolgen, für einen Fuzzy-Controller könnte ein weiteres Ziel lauten „*erzeuge einen Controller mit möglichst wenigen Regeln*“. Dies ermöglicht es gleichzeitig das System noch auf die Anforderungen der Echtzeitdarstellung zu optimieren.

Die Optimierung mittels Genetischer Algorithmen ist größtenteils problemunabhängig. Dies ermöglicht es den größten Teil der Optimierung in ein unabhängiges Modul auszulagern. Die Verhaltensbeschreibung eines Objekts muss somit nur um die problemabhängigen Teile, dies sind die Bitstringkodierung und die Fitnessfunktion, erweitert werden und kann dann optimiert werden.

**Genetische Algorithmen** Genetische Algorithmen nutzen Verfahren aus der Genetik zur Optimierung von Lösungen. Voraussetzung für die Optimierung durch einen Genetischen Algorithmus ist, dass das zu optimierende Problem in einem Bitstring codiert werden kann. Außerdem muss eine Bewertung der Qualität der Lösung durch den Rechner möglich sein. Der Genetische Algorithmus arbeitet mit mehreren, meist über hundert Individuen, wobei jedes Individuum eine Lösung des Problems darstellt. Die erste Generation von Individuen wird normalerweise zufällig erzeugt und die Qualität dieser Lösungen wird durch eine Fitnessfunktion bewertet. Die Fitnessfunktion misst die Qualität der gefundenen Lösung anhand verschiedener Faktoren, wobei diese Faktoren unterschiedlich gewichtet werden können. Aus dieser Generation wird durch Selections-, Crossover- und Mutationsmodulen eine neue Generation von Individuen generiert. Dies geschieht solange bis ein bestimmtes Abbruchkriterium erfüllt wird. Das Abbruchkriterium kann ein bestimmter Fitnesswert, aber auch das Erreichen einer bestimmten Anzahl an Generationen oder die Dauer der

Optimierung sein. Hier ein Überblick über die verschiedenen Module eines Genetischen Algorithmus:

- Die **Selections-Routine** wählt aus der aktuellen Generation zufällig 2 Individuen (Eltern) aus, wobei bei der Auswahl Individuen mit hoher Fitness bevorzugt werden.
- Die **Crossover-Routine** trennt die Bitstrings der Eltern auf und setzt sie überkreuz wieder zusammen. Auf diese Art und Weise werden 2 Kinder für die nächste Generation erzeugt. Diese Kinder tragen Merkmale von beiden Elternteilen.
- Die **Mutations-Routine** kippt mit einer sehr niedrigen Wahrscheinlichkeit (meist etwa  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{100}$ ) zufällig einzelne Bits und sorgt so für einen geringen Anteil an Zufallssuche.

Der Pseudo Code eines Genetischen Algorithmus lässt sich folgendermaßen beschreiben:

```
BEGIN
  Initialisiere(Generation)
  Berechne Fitness(Alle Individuen)
  WHILE(Abbruchkriterium nicht erreicht)
    FOR(Anzahl Individuen / 2)
      Eltern = Wähle_2_Eltern(Generation) /*Selektion*/
      Kinder = Verknüpfe(Eltern) /*Crossover*/
      Mutiere_Kinder() /*Mutation*/
      Kinder_Fitness = Berechne_Fitness(Kinder) /*Fitness*/
      Einfügen(Kinder, Neue Generation)
    END FOR
    Generation = Neue Generation
  END WHILE
END GA
```

Nachdem eine neue Generation erzeugt wurde, kann das beste Individuum der alten Generation noch unverändert in die neue Generation eingefügt werden. Somit kann sichergestellt werden, dass sich das beste Individuum nur verbessern und nie verschlechtern kann. In dieser Arbeit wurde der von Erich Becker in [Bec94] entwickelte, hardwareimplementierbare Genetische Algorithmus eingesetzt. Das Ziel dieser Arbeit war es den Fuzzy-Controller in Hardware erstellen zu können. Um dies erreichen zu können, wurde der Aufbau des Controllers möglichst einfach und hardwarenah gehalten (vgl. [Bec94]). Dieser einfache Aufbau lässt sich leicht auf die Simulation des Fahrzeugs in einer Echtzeitumgebung übertragen.

- **Selektion** Als Selektions-Routine kann z.B. das „Roulette-Wheel-Verfahren“ eingesetzt werden. Dazu muss die Summe aller Fitnesswerte bekannt sein. Es wird zu Beginn der Selektion durch den Zufallsgenerator ein Wert zwischen einer unteren Schranke und der Fitnesssumme bestimmt. Danach werden die Fitnesswerte der Individuen aufaddiert bis der Zufallswert überschritten wird. Das Individuum, welches das Überschreiten verursacht hat, wird ausgewählt und das Aufaddieren beginnt von Neuem. Somit durchbrechen Individuen mit hoher Fitness die Schranke mit einer höheren Wahrscheinlichkeit und werden dadurch bevorzugt ausgewählt.

- **Crossover** Beim Crossover werden die beiden Bitstrings der im vorherigen Schritt selektierten Eltern aufgetrennt und überkreuz wieder zusammengefügt. Es existieren verschiedene Methoden für dieses Auftrennen (vgl. [BBM93]):

- **1-Point-Crossover:** Dabei werden die Bitstrings an genau einem Punkt aufgetrennt und überkreuz an die Kinder übergeben.

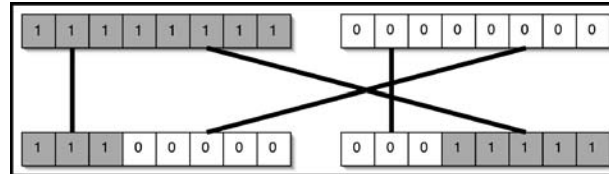


Abbildung 5.21: 1-Point-Crossover

- **2-Point-Crossover:** Ähnlich wie 1-Point-Crossover, nur werden die Bitstrings an zwei Punkten aufgetrennt und der mittlere Teil ausgetauscht.

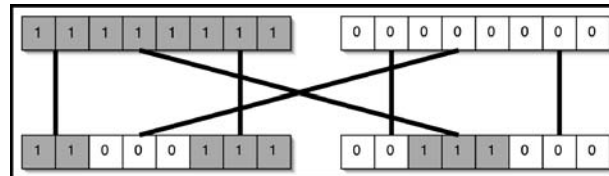


Abbildung 5.22: 2-Point-Crossover

- **Uniform-Crossover:** Diese Variante arbeitet quasi mit dem zufälligen Austausch der einzelnen Bit des Bitstrings. Dabei wird für jeden Austausch eine zufällig generierte Crossover-Maske verwendet, d.h. es kann maximal soviele Kreuzungspunkte wie Bits im Bitstring geben.

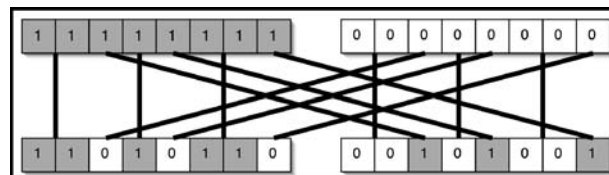


Abbildung 5.23: Uniform-Crossover

Dieses Mischen der Bitstrings ist der wichtigste Mechanismus des Genetischen Algorithmus. Hierdurch werden Informationen zweier Individuen vermischt und somit neue Eigenschaften erschaffen. Erfolgreiche Muster treten dabei in vielen Individuen auf und werden auch durch die Kreuzung nicht so leicht zerstört. Die Kodierung der Verhaltensbeschreibung in einen Bitstring muss so geschehen, dass durch das Mischen der Bitstrings keine ungültigen Beschreibungen entstehen können.



- **Mutation** Die Mutationsfunktion sorgt für einen geringen Anteil an Zufallssuche und verhindert dadurch, dass die Optimierung in einem lokalen Maximum hängen bleibt. Dazu werden einzelne Bits des Bitstrings zufällig gekippt.

Im Bereich der Genetischen Algorithmen wird die Mutation meist als Hintergrundoperator betrachtet. Thomas Bäck beschreibt in [Bäc92] die „Mutation als ein Ereignis, welches mit einer kleinen Wahrscheinlichkeit  $pm$  pro Bit eintritt“. Daher werden meist niedrige Mutationsraten ( $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{100}$ ) eingesetzt. Der in [Bec94] beschriebene Algorithmus verändert pro Bitstring jeweils nur ein Bit. Verändert man die Mutationsrate in Abhängigkeit von der Standardabweichung der jeweiligen Generation, d.h. höhere Mutationsrate bei geringer Standardabweichung, so erreicht man eine verstärkte Zufallssuche in lokalen Maxima. Wichtig bei dieser Methode ist das Beibehalten des besten Individuums, um eine Verschlechterung der Ergebnisse zu vermeiden.

- **Fitnessfunktion** Die Fitnessfunktion bestimmt das Ergebnis der Optimierung. Sie ist das wichtigste Element eines genetischen Algorithmus, aber auch das einzige problemabhängige. Selektion, Crossover und Mutation funktionieren auf beliebigen Bitstrings, können also problemunabhängig verwendet werden.

Eine Fitnessfunktion für ein autonomes Fahrzeug kann so aussehen:

$$fitness = \alpha * weg + \beta * abstand + \gamma * lenkwert + \varepsilon * regeln$$

Hierbei bedeutet:

- *weg* = Vom Fahrzeug zurückgelegte Strecke
- *abstand* =  $\sum$  Abstand von den Hindernissen
- *lenkwert* =  $\sum ((\text{Maximaler Lenkausschlag}) - (\text{aktueller Lenkausschlag}))$
- *regeln* = (Maximale Anzahl der Regeln) - (Anzahl aktiver Regeln).

Über die Werte  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  und  $\varepsilon$  kann eine Gewichtung der Optimierungsziele vorgenommen werden. Da über die Summenbildung die zurückgelegte Strecke indirekt auch in den Werten *abstand* und *lenkwert* steckt, kann  $\alpha$  in diesem speziellen Fall auch gleich 0 gesetzt werden.

### 5.1.3.2 Ergebnisse

Durch den Einsatz von Genetischen Algorithmen zur Anpassung von Verhaltensbeschreibung ist es möglich diese Anpassungen auch ohne Programmierkenntnisse durchzuführen. Das Verhalten wird durch eine Zielvorgabe beschrieben und vom System automatisch optimiert.

**Anwendungsbeispiel „Autonomes Fahrzeug“** Die Aufgabe der simulierten Fahrzeuge in diesem Beispiel war es, möglichst weit ohne Kollision auf einem Rundkurs zu fahren. Schon nach wenigen Generationen begannen die meisten Fahrzeuge große Teile des Kurses fehlerfrei zu durchfahren (vgl. Abbildung 5.24). Durch das direkte Übernehmen der besten Fahrzeugs in die nächste Generation wurde sichergestellt, dass sich die Leistung nicht verschlechtern konnte. Nach Ende der Optimierung schafften es die besten Fahrzeu-

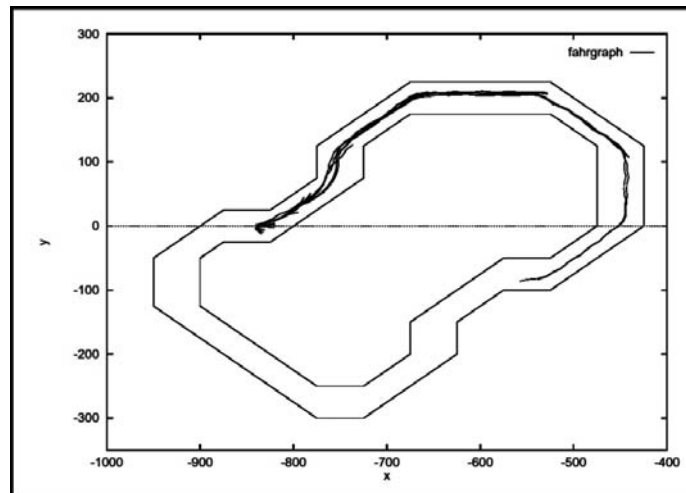


Abbildung 5.24: Ergebnis nach 30 Generationen

ge den Rundkurs in Ideallinie zu durchfahren (vgl. Abbildung 5.25). Selbst mit komplett zufällig erstellten Fuzzyregeln für die Startgeneration entwickelte sich recht schnell eine brauchbare Verhaltenssteuerung. Durch die Veränderung der Gewichtung der verschiedenen Ziele konnte das Verhalten stark geändert werden, ohne das Hauptziel aus den Augen zu verlieren.

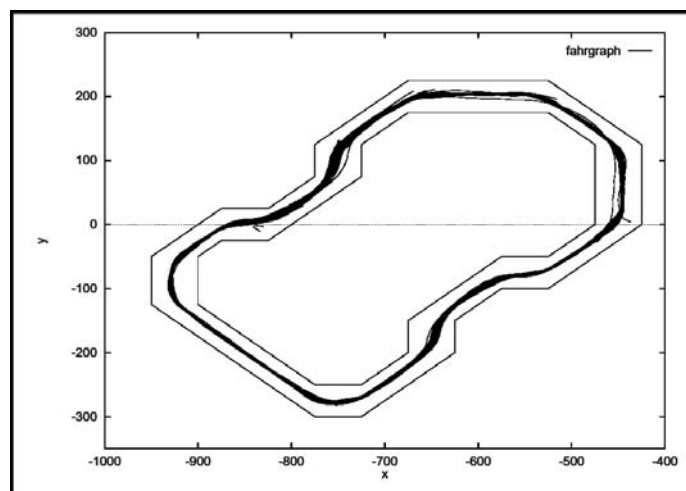


Abbildung 5.25: Ergebnis nach Ende der Optimierung

Die dabei erzeugte Fahrzeugsteuerung lies sich auch für andere Strecken einsetzen, es ist aber darauf zu achten, dass die bei der Optimierung eingesetzten Bedingungen möglichst alle im späteren Einsatz auftretenden Situationen beinhalten. Möglicherweise kann es sinnvoll sein die Fitnessfunktion aus der Performanz der Individuen in verschiedenen Umgebungen zusammenzusetzen.

Während der Optimierung wurde auch noch die Anzahl der Fuzzy-Regeln, d.h. die benötigte Rechenleistung, minimiert. Dieses Ziel wurde mit geringer Wichtung in die Fitnessfunk-

tion eingebracht, so dass nur Fahrzeuge, die die primären Ziele möglichst gut erfüllten, auf die Reduzierung der Rechenleistung optimiert wurden.

**Anwendungsbeispiel „FishEvolution“** Das Beispiel FishEvolution zeigt den Einsatz von Genetischen Algorithmen zur Anpassung des Verhaltens von Fischen. Dabei werden drei Hierarchiestufen von Fischen unterschieden: Raubfische (Predators), friedliche Fische (Pacifists) und Schwarmfische (Swarm Fish). Jede dieser Spezies stellt eine eigene Generation dar und kann unabhängig von den anderen optimiert werden.

Die Verhaltenssteuerung wurde aufbauend auf Craig Reynolds *Steering Behaviors For*

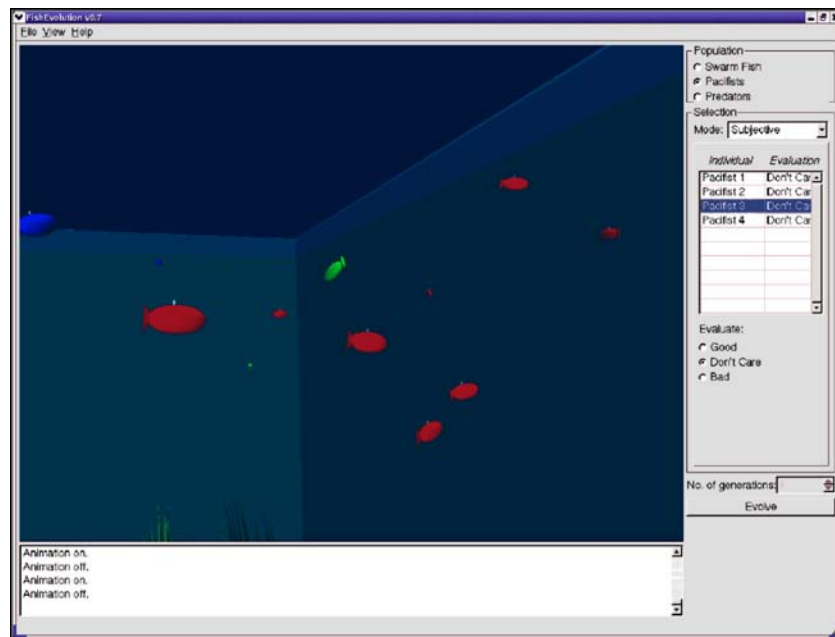


Abbildung 5.26: Fish Evolution mittels Genetischer Algorithmen

*Autonomous Charactes* [Rey99] realisiert. Über ein einfach zu bedienendes Interface (vgl. Abbildung 5.26) ist es dem Benutzer möglich seine Zielvorgaben, hier als Größe, Beweglichkeit, Geschwindigkeit und Abstand vom Boden vorgegeben, einzugeben. Nach der Eingabe kann eine Evolution über eine bestimmte Anzahl an Generationen gestartet werden. Wurde das gewünschte Ergebnis nicht erreicht, kann die Evolution, auch mit veränderten Zielvorgaben, fortgesetzt werden. Als zweite Möglichkeit der Auswahl wurde die Zielvorgabe durch eine direkte Bewertung des Benutzers ersetzt. Der Benutzer kann die Fische markieren, deren Verhalten ihm gefällt oder nicht gefällt und so direkten Einfluss auf die weitere Evolution nehmen.

## 5.2 Präsentationskomponenten

Das im Folgenden vorgestellte System kann als Basis für den Entwurf virtueller Lernumgebungen dienen. In Abhängigkeit von den Anforderungen, die an die zu entwickelnde Lernwelt gestellt werden, können Komponenten vereinfacht oder gar weggelassen werden. Ein Datenhaltungssystem für Lernerdaten wird beispielsweise an öffentlichen Lernorten,

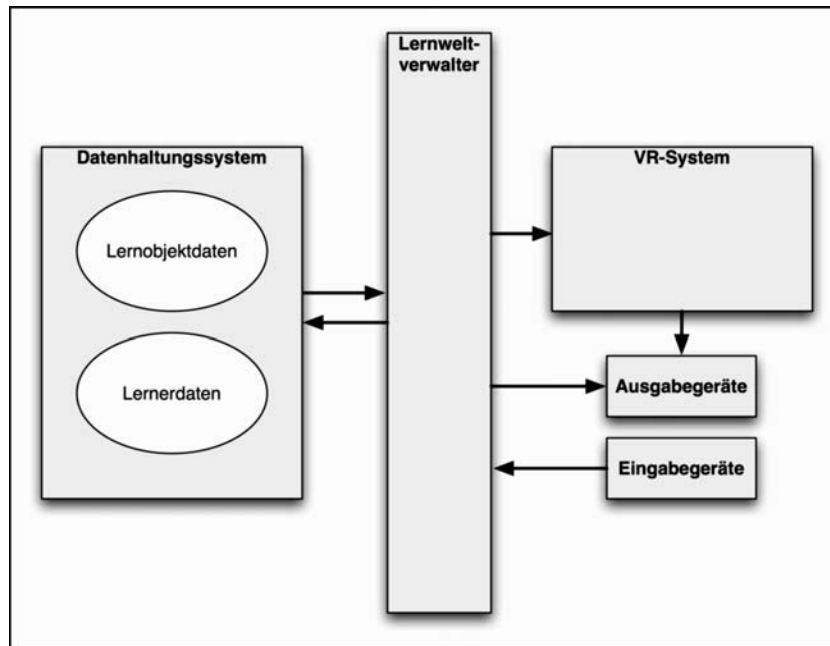


Abbildung 5.27: Die Architektur einer Virtuellen Lernwelt

wie z.B. in Museen oder Ausstellungen meist nicht benötigt, da hier normalerweise keine Nachbereitung des Lernvorgangs durch einen Lehrenden erfolgt.

### 5.2.1 Der Lernweltverwalter

Der hier eingeführte *Lernweltverwalter* tritt zwischen die Benutzer und das VR System. Er verwaltet die gesamte Lernwelt und koordiniert, nicht nur im pädagogischen Sinne durch die Integration eines erzieherischen Konzepts, die Benutzeraktionen. Somit ist es für die Lernumgebung selbst unwesentlich, über welches Protokoll die Systemkommunikation abläuft, welche Geräte benutzt werden, ob die Interaktion über eine Graphische Benutzungsschnittstelle wie in Kapitel 7 dargestellt oder über spezielle VR Eingabegeräte erfolgt, und ob das VR- System auf VRML, Java3D oder OpenGL beruht. Neben der Möglichkeit, bestimmte für Anfänger schwierige Interaktionsformen wie die Navigation in benutzerfreundlicher Weise zu kapseln, kann dadurch auch größtmögliche Portabilität erreicht werden.

In einer Mehrbenutzerlernwelt übernimmt der *Lernweltverwalter* auch die Synchronisation zwischen den verschiedenen Benutzern. Ebenso wie bei einer Einbenutzerlernwelt läuft jede Kommunikation zwischen Benutzer und Lernwelt über den *Lernweltverwalter*, welcher sich aus Sicht des VR Systems wie ein Benutzer darstellt. So lassen sich auch VR Welten, welche eigentlich nicht für einen Mehrbenutzerbetrieb ausgelegt sind auf einen solchen erweitern.

Die im Kapitel 4.2 herausgearbeiteten Elemente rechnergestützter Lernwelten werden als Untermodule des Moduls *Lernweltverwalter* realisiert. Ebenso lassen sich Elemente aus Gebieten wie Computer-Based-Training oder e-learning in den *Lernweltverwalter* integrieren oder an diesen anbinden.

Ziel dieser Arbeit kann es nicht sein einen allgemeingültigen *Lernweltverwalter* zu ent-

wickeln, da dieses Modul stark von spezifischen Rahmenbedingungen abhängt. Daher ist

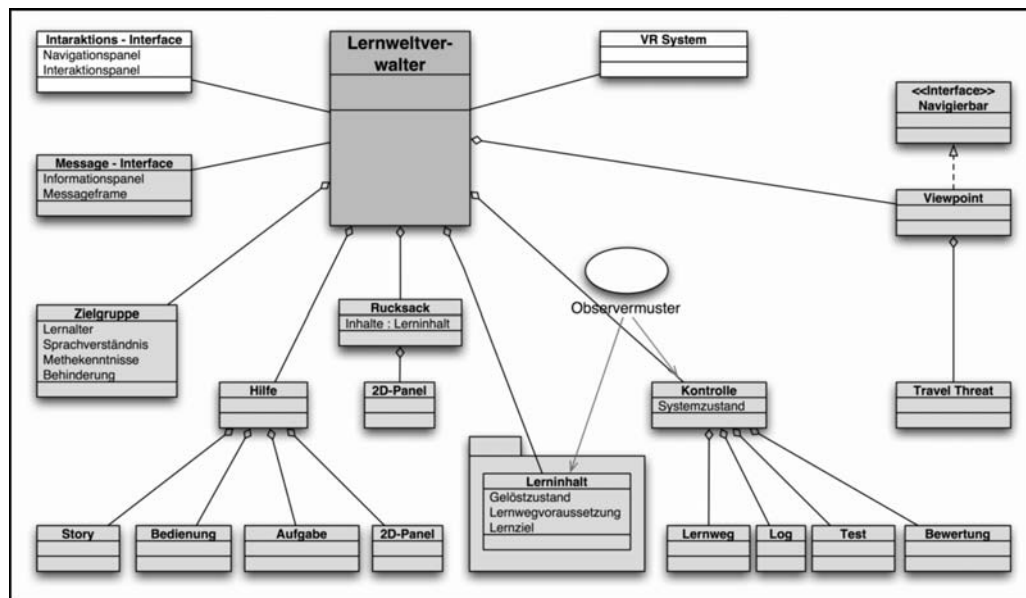


Abbildung 5.28: Klassendiagramm „Virtuelle Lernwelt“

der Lernverwalter als ein offenes und modulares Konzept zu realisieren, um flexibel an die unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Lernwelten anpassbar zu sein.

### 5.2.2 Datenhaltungssystem

Zur Speicherung der Lernobjkt Daten und der Lernerdaten wird ein Datenhaltungssystem benötigt. Bei komplexen Virtuellen Lernwelten bietet sich hierfür eine Datenbanklösung an, um einen schnellen Zugriff auf die benötigten Daten zu ermöglichen. Ein Datenbanksystem erhöht auch die Wartbarkeit der Daten.

Unter den Lernobjkt Daten werden alle für das Erreichen des Lernziel benötigten Objekte verstanden. In den meisten Fällen werden dies multimediale Daten oder dreidimensionale Objekte sein, welche dem Lernenden in geeigneter Weise präsentiert werden. Diese Lernobjekte können durch Benutzerinteraktion manipuliert und verändert werden.

Die Lernerdaten beinhalten alle zur späteren Analyse der Lernvorgangs benötigten Daten und werden während der Interaktion mit der Virtuellen Lernwelt erstellt. So können sowohl Daten über den Lerner, wie z.B. Alter, Vorkenntnisse u.ä., als auch über die in der Virtuellen Lernwelt durchgeführten Aktionen und erreichten Ziele gespeichert werden. Neben einer Analyse des Lernvorgangs durch den Lehrenden oder den Lernenden können diese Daten auch zur Ergebnissicherung herangezogen werden. Anhand der Aufzeichnung kann z.B. automatisch ein Test entworfen werden um die Lernergebnisse abzufragen oder es können ähnliche Szenarien für die weitere Übung ausgewählt werden. Auch als bleibende Aufzeichnung des Lernerlebnisses auf einem anderen Medium können diese Daten genutzt werden. So wurde im NICE Project [RJM<sup>+</sup>99] aus den während der Interaktion gesammelten Informationen eine Webseite im Comicstil erstellt, auf welcher die Kinder ihre Erlebnisse in der Virtuellen Welt später nochmals nachlesen konnten.

### 5.3 Beispielhafte Anwendungsfälle

Obwohl sich virtuelle Lernwelten nicht unabhängig von weiteren Rahmenbedingungen, zu nennen sind hier u.a. der Lernort, die Lerngruppe und das Thema, beschrieben werden können, lassen sich doch einige generelle Abläufe definieren. Im Diagramm 5.29 werden einige sich grundsätzlich ergebende Anwendungsfälle aufgezeigt.

Aus der Sicht der Lerner lassen sich drei wichtige Anwendungsfälle unterscheiden:

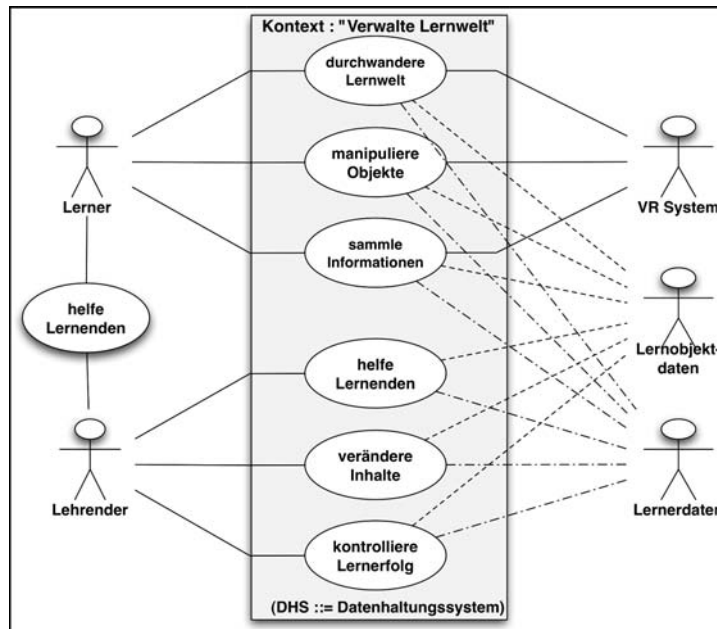


Abbildung 5.29: Use Case Diagramm

- **„Durchwandere Lernwelt“** beschreibt die Navigation durch die Lernwelt. Die Navigation läuft normalerweise auch über den *Lernweltverwalter*. Kann sich der Benutzer frei durch die Lernwelt bewegen, ohne dass die Navigation über den *Lernweltverwalter* geht, dann ist sicherzustellen, dass das Erreichen von für den Lernprozess wichtigen Positionen vom VR System an den diesen gemeldet wird. Abhängig von der erreichten Position können bestimmte Events ausgelöst oder neue Interaktionsmöglichkeiten aktiviert werden.
- **„Manipuliere Objekte“** beschreibt die Veränderung von Objektdaten. Dies kann z.B. eine neue Position und Orientierung eines Geometrieobjekts sein oder ein neuer Parameter innerhalb einer Simulation. Auch hier können einige Aktionen bestimmte Events auslösen oder neue Interaktionsmöglichkeiten aktivieren.
- **„Sammele Informationen“** beschreibt eine Anfrage des Lernenden an das System nach Informationen. Dies können multimediale Informationen, wie z.B. Texte oder Bilder sein, aber auch eine neue Perspektive auf die Virtuelle Welt oder einzelne Objekte. Ebenso können Animationen gestartet werden, um Zusammenhänge zu verdeutlichen.

Durch das Vermerken der präsentierten Informationen in den Lernerdaten lässt sich eine gezielt Lernzielkontrolle, z.B. in Form eines Fragebogens, leicht realisieren.

In den meisten Fällen wird der Lehrende die Interaktion mit der Lernwelt passiv beobachten oder Hilfen durch direkte Ansprache der Lernenden geben. Ein aktives Eingreifen des Lehrenden in die Virtuelle Lernwelt wird daher meist nicht nötig sein. Ein aktives Eingreifen bietet aber auch interessante Komponenten, z.B. indem der Lehrer den Lernerfolg in Form eines Virtuellen Avatars anonym abfragen kann. Auch für das aktive Eingreifen des Lehrenden können einige grundlegende Anwendungsfälle unterschieden werden:

- **„Hilfe Lernenden“** unterstützt die Lernenden beim Lernprozess durch eine Manipulation der Lernwelt oder durch direkte Hilfestellungen.
- **„Verändere Inhalte“** passt die Lerninhalte zur Laufzeit an die Bedürfnisse der Lernenden an.
- **„Kontrolliere Lernerfolg“** beschreibt eine aktive Abfrage der vom Lerner bisher erreichten Lernziele durch den Lehrenden zur Laufzeit.

### 5.3.1 Sequenzdiagramme

Am Beispiel der im vorherigen Kapitel für den Lerner herausgearbeiteten Anwendungsfälle wird der Ablauf einer typischen Aktion anhand von Sequenzdiagrammen aufgezeigt. Die Sequenzdiagramme in den Abbildungen 5.30, 5.31 und 5.32 verdeutlichen in welcher Reihenfolge welche Systembestandteile auf die Aktionen des Benutzers reagieren.

Das erste Sequenzdiagramm (vgl. Abbildung 5.30) beschreibt die Navigation in der Virtu-

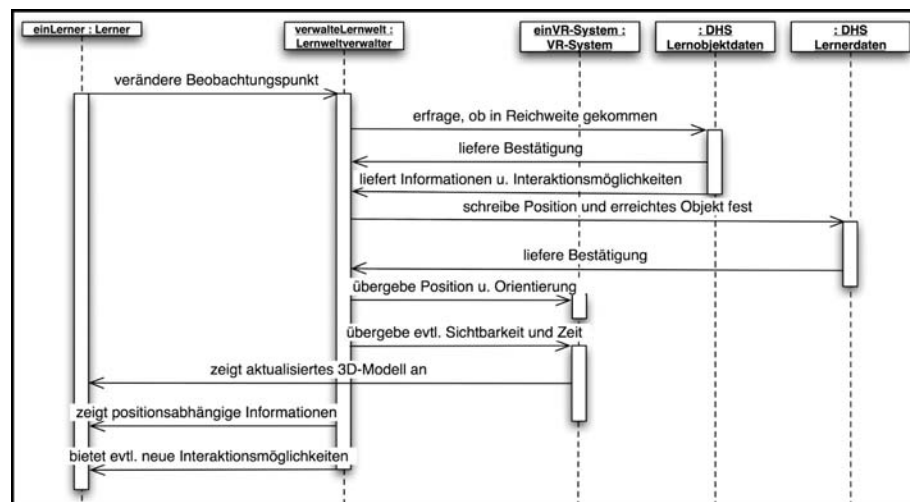


Abbildung 5.30: Sequenzdiagramm „Navigation in der Lernwelt“

ellen Lernwelt. Diese Aktion lässt sich durch die im nächsten Kapitel beschriebene Basisinteraktionsaufgabe *Positionierung* abbilden und ist eine grundlegende Interaktionsform in Virtuellen Welten. Im Gegensatz zur normalen Navigation in einer VR Welt, bei der die neue Position und Orientierung dem VR System übergeben wird, muss in einer Virtuellen

Lernwelt das Lernweltverwaltungsmodul die aktuelle Position mit den Lernobjektdaten abgleichen. Somit kann festgestellt werden, ob ein gewisser Zustand, wie z.B. das Betrachten eines bestimmten Objekts oder das Betreten eines Raumes, erreicht wurde. Das Erreichen von bestimmten Bereichen der Lernwelt kann auch veränderte Interaktionsmöglichkeiten zur Folge haben.

Zusätzlich kann das Ergebnis noch in einer Datenbank für Lernerdaten abgelegt werden, um somit für eine spätere Besprechung oder für die Abfrage der Lernergebnisse genutzt werden zu können.

Vergleichbar mit der Navigation innerhalb der Lernwelt, läuft auch die Manipulation von Objekten über den *Lernweltverwalter*. So kann das System feststellen, welche Objekte wie manipuliert wurden und entsprechend darauf reagieren.

Ebenso wie bei den beiden vorher genannten Anwendungsfällen läuft das Sammeln von

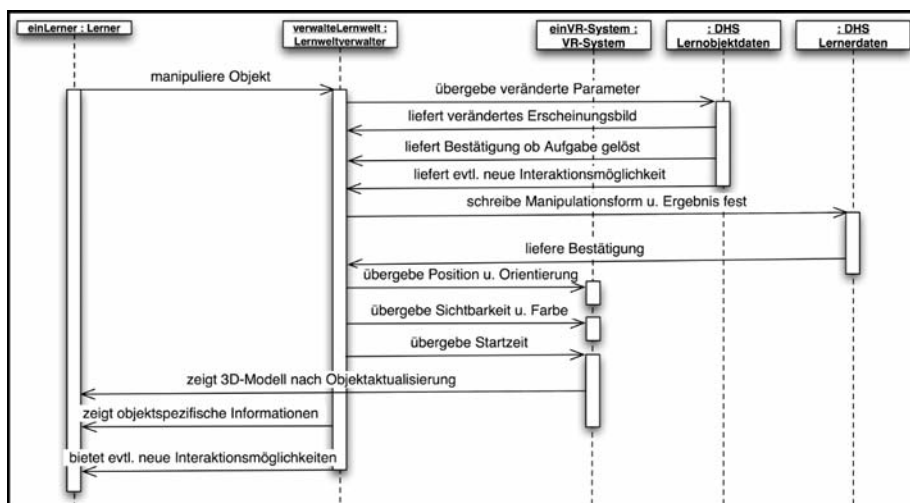


Abbildung 5.31: Sequenzdiagramm „Manipuliere Objekte“

Informationen normalerweise über den *Lernweltverwalter*, welcher entscheidet wie die angeforderte Information dem Benutzer präsentiert wird. Da viele Informationen immanenter Bestandteil der Virtuellen Umgebung sind, können aber einige Informationen auch ohne Wissen des *Lernweltverwalters* gesammelt werden. Ergeben sich weitere Anwendungsfälle, so werden sie entsprechend der gezeigten Abläufe in das System integriert.

### 5.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Basissystem für Virtuelle Lernwelten vorgestellt. Das Kapitel teilt sich in zwei Teilbereiche. Zuerst wurden Konzepte für das Erstellen und Verändern von Virtuellen Welten herausgearbeitet. Ein besonders wichtiger Punkt hierbei ist es den Lehrenden Werkzeuge an die Hand zu geben, um kleine Anpassungen des Systems selbst vornehmen zu können.

Im zweiten Teil des Kapitels wurden Elemente vorgestellt, die zur Verwaltung der Lernwelt während der Laufzeit benötigt werden. Der *Lernweltverwalter* wurde als wichtige Komponente von Virtuellen Lernwelten eingeführt. Er vermittelt zwischen Benutzer und VR System und überwacht den Ablauf des Lernszenarios und den Lernfortschritt. Zusätz-



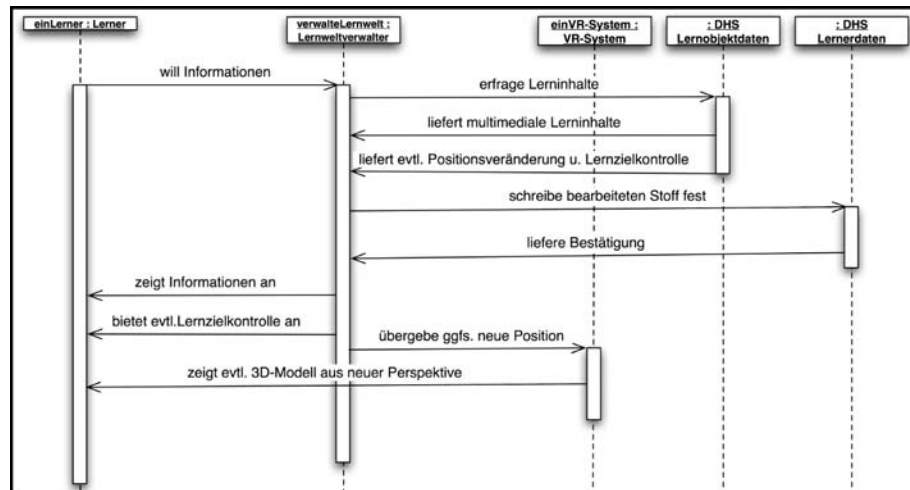


Abbildung 5.32: Sequenzdiagramm „Sammle Informationen“

lich wurden zwei wichtige Datenhaltungssysteme ermittelt, welche für die Verwaltung von Virtuellen Lernwelten wichtig sind. Dabei handelt es sich um die Lernobjektdaten, die zusammen mit der Virtuellen Szene den Inhalt der Lernwelt bilden, und die Lernerdaten, die alle Informationen beinhalten, die mit dem Lerner an sich und seinen Aktionen in der Virtuellen Lernwelt zu tun haben.

An einigen Anwendungsfällen wurde die Funktion des *Lernweltverwalter* erläutert und beispielhaft die Abläufe in verschiedenen Modulen aufgezeigt.



## 6 Interaktion in Virtuellen Lernwelten

Wie bereits erwähnt, ist die Möglichkeit zur Interaktion eine der wichtigsten Eigenschaften virtueller Lernwelten. Sowohl die Lernenden als auch die Lehrenden haben dadurch die Möglichkeit direkt den Ablauf des virtuellen Geschehens zu beeinflussen. Der Benutzer wird somit vom Beobachter, wie das z.B. bei Filmen und Animationen der Fall ist, zum aktiven Teilnehmer. Er kann seinen Standpunkt in der Virtuellen Welt ändern und sich so frei durch die Szene bewegen, um z.B. Objekte aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten. Des Weiteren kann er aktiv Parameter der Welt verändern und somit u.a. Simulationen beeinflussen. Diese Interaktion mit der Lernwelt und die Möglichkeit sich frei in dieser Welt zu bewegen, ermöglichen es dem Lerner eigene Erfahrungen zu machen und Erkenntnisse experimentell zu erarbeiten.

Alle Interaktionsmöglichkeiten innerhalb einer Virtuellen Welt lassen sich auf folgende Basisinteraktionsaufgaben (*BIT: basic interaction tasks*) [FvDFH95] abbilden:

- **Positionierung:** Diese BIT dient dazu die Position von Objekten im dreidimensionalen Raum zu verändern.
- **Rotation:** Über diese BIT lässt sich die Orientierung von Objekten im Raum ändern. Zusammen mit der BIT *Positionierung* lässt sich somit z.B. die *Navigation*, einer der wichtigsten Interaktionsaufgaben in Virtuellen Welten realisieren.
- **Selektion:** Hierüber werden Objekte aus einer Auswahlliste ausgesucht. Dabei kann es sich sowohl um eine Objekt-, als auch Menü- und Kommandoauswahl handeln.
- **Quantifizierung:** Mittels dieser BIT werden Werte, meist zwischen festen Minimal- und Maximalwerten, geändert. Dies können z.B. Parameter einer Simulation oder Objekteigenschaften, wie z.B. Größe oder Farbe, sein.
- **Text:** Über diese BIT werden Texte an das System übergeben. Zu beachten ist hierbei, dass das System diesen Texten keine Bedeutung zumisst, das Eingeben von Befehlen kann nicht als BIT angesehen werden.

Aus diesen BIT lassen sich alle komplexen Interaktionsaufgaben (*CIT: composite interaction tasks*) zusammensetzen.

Wie oben erwähnt, bilden die Interaktionsmöglichkeiten eine wichtige Grundlage zur Wissensvermittlung in Virtuellen Welten, sie sind aber nur ein Mittel zum Zweck, sie sollten dem Benutzer jeder Zeit zur Verfügung stehen, dürfen aber seine Aufmerksamkeit nicht vom Lernstoff ablenken. Ideale Interaktionsmetaphern sollten vom Benutzer intuitiv bedient werden können, so dass er seine volle Konzentration auf die Lernwelt und ihre Inhalte lenken kann.

Zu unterscheiden sind hierbei aber auch unterschiedliche Nutzergruppen. Während von Fachleuten erwartet werden kann, dass sie eine längere Lernphase für die Bedienung der Lernwelt in Kauf nehmen, muss diese Einarbeitungsphase beim Einsatz in einem Museum oder einer Ausstellung, mit einer kurzen Verweildauer der Besucher an dem Exponat,

möglichst kurz gehalten werden.

Im Folgenden werden mögliche Interaktionsszenarien für Virtuelle Lernwelten aufgezeigt.

### 6.1 Interaktionsszenarien

Die benötigten Interaktionsmöglichkeiten und Interaktionsformen hängen sehr stark von der eigentlichen Lernwelt, der Zielgruppe und der Unterrichtsform ab. Da eine allgemeine Aussage aufgrund der sehr unterschiedlichen Anforderungen nicht getroffen werden kann, sollen hier die möglichen Interaktionsszenarien untersucht werden.

Für das institutionelle Lernen lassen sich diese Interaktionsszenarien teilweise auf die vier Sozialformen des Unterrichts: Frontalunterricht, Gruppenunterricht, Partnerarbeit und Einzelarbeit, abbilden. Somit lassen sich hieraus mögliche Anwendungsgebiete dieser Szenarien im Unterricht ableiten.

Für den Einsatz an öffentlichen Lernorten, wie z.B. Museen oder Ausstellungen, hängt die Wahl des geeigneten Interaktionsszenarios stark von der Ausstellungsplanung, den erwarteten Besucherzahlen und den gewählten Inhalten ab. Bedingt durch den zu erzielenden Besucherdurchsatz, eignen sich aber Gruppenszenarien meist besser für solche Lernorte, da somit mehrere Personen die Präsentation gleichzeitig erleben können.

#### 6.1.1 Interaktionsszenarien für eine Person

Bei diesem Szenario wird die Interaktion von einer Person zentral gesteuert. Dies ist die gängigste Interaktionsmethode in Virtuellen Welten. Die ist meist bedingt durch die Einschränkung auf ein einziges visuelles Ausgabegerät.

Diese Situation ermöglicht einen genau kontrollierten Ablauf und eignet sich z.B. zur Einführung in ein Thema oder für kleine Benutzergruppen. Sollen, z.B. in einer Schulklasse, weitere Personen in die Interaktion einbezogen werden, so ist eine kontrollierte Übergabe der Steuerung denkbar. Dies kann durch eine Übergabe der Interaktionsgeräte oder durch die Aktivierung des jeweiligen Schülergeräts geschehen, falls jeder Schüler ein eigenes Gerät besitzt. So kann die Lehrperson die Funktionsweise der Interaktionsgeräte und die Aufgaben innerhalb der Lernwelt erst selbst vorführen und dann die Kontrolle gezielt an einzelne Schüler übergeben, um den Schüler eine Aufgabe lösen zu lassen. Hat der Schüler Probleme mit der Steuerung, so kann die Lehrperson jederzeit die Kontrolle wieder übernehmen.

Nachteilig bei dieser Art der Interaktion ist, dass die restlichen Lerner nur beobachten können und somit nicht das gleiche Erlebnis haben wie der interagierende Benutzer. Andererseits kann das Beobachten genauere Einblicke in die Zusammenhänge erlauben, da sich der Lerner nicht zusätzlich zum Lehrstoff noch auf die Interaktion mit dem System konzentrieren muss.

Steht ausreichendes Equipment zur Verfügung, was vor allem bei Desktop VR möglich ist, können die Schüler natürlich jeder unabhängig in seiner eigenen Welt interagieren. Die Lehrperson kann in einem solchen Szenario von einem Kontrollrechner aus jede Lernwelt beobachten und, falls notwendig, auch beeinflussen.

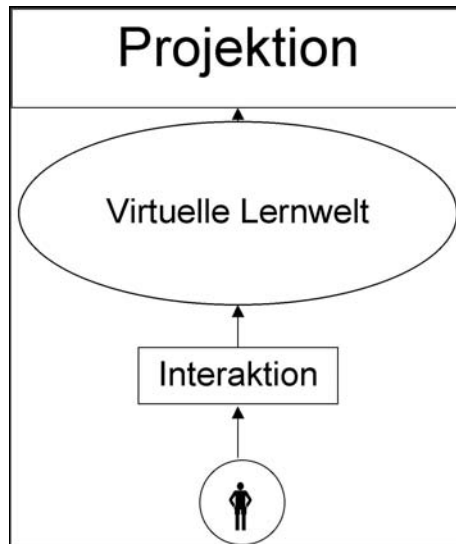


Abbildung 6.1: Interaktion einer einzelnen Person in einer Lernwelt

### 6.1.2 Interaktionsszenarien für Gruppen

Da Unterricht meist im Klassenverband stattfindet sind für Virtuelle Lernwelten Einzelbenutzerszenarien nur bedingt anwendbar. Im Folgenden werden verschiedene Szenarien beschrieben, die es mehreren Personen ermöglichen mit der Virtuellen Welt zu interagieren. Konzepte zur Umsetzung solcher Szenarien finden sich in Kapitel 6.2.

#### 6.1.2.1 Mehrere Benutzer an einem Gerät

Eine Möglichkeit, um mehrere Personen in die Interaktion miteinzubeziehen besteht darin, das Interaktionsgerät so zu gestalten, dass es von mehreren Personen bedient werden kann. So ermöglicht es z.B. ein berührungssensitiver Bildschirm, wie er u.a. für die Präsentation „Der virtuelle Dom von Siena“ oder „Der virtuelle Weltraum“ (vgl. Kapitel 8) genutzt wird, mehreren Personen den Zugriff auf die Steuerelemente. Durch die Größe des verwendeten Bildschirms ist es möglich, dass sich eine Gruppe um das Gerät versammelt und dann abwechselnd interagiert oder sich abspricht, was getan werden soll. Da jede Aktion des gerade aktiven Benutzers von den anderen mitverfolgt werden kann, sind dessen Aktionen immer verständlich. Dieses Szenario funktioniert aber nur, wenn geeignete Interaktionsgeräte genutzt werden können und wenn die Gruppengröße klein genug ist.

Eine weitere Möglichkeit mehrere Benutzer in einer Virtuellen Welt interagieren zu lassen ist, die Aktion aus den Eingaben mehrerer Benutzer zu mitteln. Hiermit können fast beliebig große Gruppen in die Interaktion miteinbezogen werden. Ein Beispiel für diese Interaktionsform wurde auf der SIGGRAPH '91 vorgestellt. Mittels einer Kelle mit einer roten und einer grünen Seite konnte dort das Publikum Pong spielen. Hierzu wurden über Kameras die Anzahl der roten und grünen Kellen erfasst und der Schläger entsprechend nach oben oder unten bewegt. Man kann mit diesem Verfahren vielfältige Informationen abfragen und auf die verschiedensten Ereignisse reagieren. Erfasst man z.B. die Position oder die Lautstärke der Benutzer im Raum, so kann man mit diesen Werten den Ablauf einer Präsentation steuern.

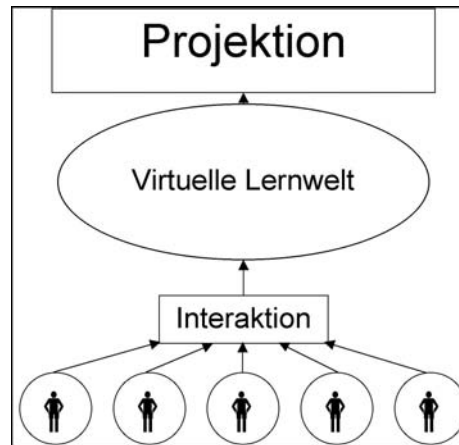


Abbildung 6.2: Interaktion in einer Lernwelt, verteilt auf mehrere Benutzer mit nur einem Interaktionsgerät

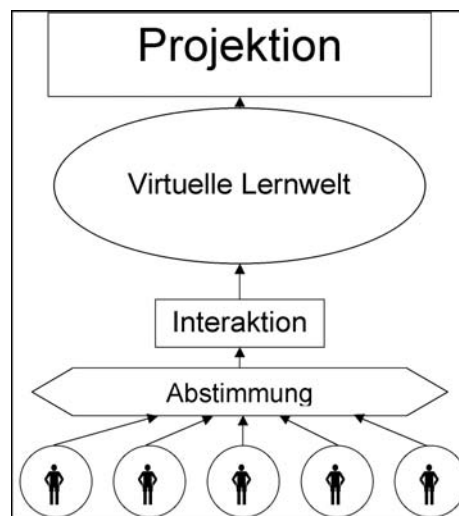


Abbildung 6.3: Interaktion in einer Lernwelt durch Abstimmung mehrerer Benutzer

Dieses Verfahren wurde auch mehrfach eingesetzt, um interaktive Kinos zu realisieren indem die Zuschauer an bestimmten Stellen des Films mittels Knöpfen an den Sitzen über den weiteren Verlauf abstimmen konnten. Als problematisch bei dieser Art der Gruppeninteraktion hat sich herausgestellt, dass der einzelne Benutzer kaum das Gefühl hat an der Entscheidung teilgenommen zu haben, vor allem, wenn er einen anderen Ablauf bevorzugt.

#### 6.1.2.2 Verteilte Interaktion

Falls das Lernszenario und die zur Verfügung stehende Hardware es zulässt, können die Steuerungsaufgaben auch an mehrere Benutzer verteilt werden. Dazu unterteilt man die Interaktionsaufgabe in verschiedene Teilaufgaben, welche dann auf die Lerner aufgeteilt werden können. Dabei können einige Teilaufgaben auch mehreren Benutzern zugeordnet werden. So kann z.B. in einer Simulation jedem Benutzer ein bestimmter Simulationsparameter zugeordnet sein, welchen er interaktiv verändern kann. Dies ermöglicht einen di-

rekten Einfluss der einzelnen Benutzer auf das Geschehen, kann aber die Übersichtlichkeit verschlechtern, da der einzelne Benutzer möglicherweise kein direktes Feedback seiner Aktionen bekommt, besonders wenn die Reaktion eines Aspekts der Lernwelt von mehreren Benutzern abhängt oder sich einzelne Reaktionen überlagern. Diese Interaktionsform wird z.B. von *Disney* in der Attraktion „Pirates of the Caribbean - Battle for the Buccaneer Gold“ eingesetzt. Jede Station ist für vier Teilnehmer ausgelegt, wobei einer die Rolle des Kapitäns übernimmt und die anderen drei Kanoniere darstellen [SS01].

Jeder Benutzer benötigt für dieses Interaktionsszenario ein eigenes Interaktionsgerät. Ver-

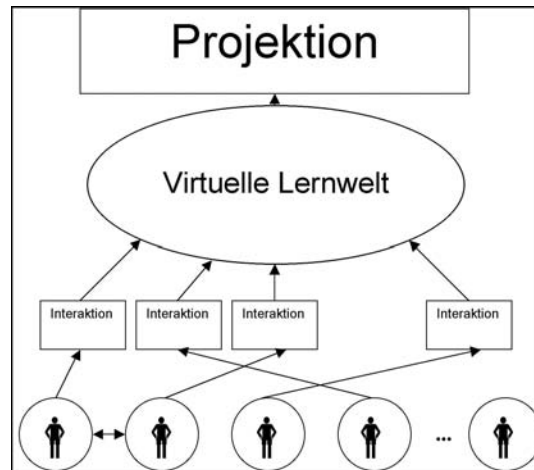


Abbildung 6.4: Interaktion in einer Lernwelt, verteilt auf mehrere Benutzer

wendet man virtuelle Geräte zur Interaktion (vgl. Kapitel 7.1.4) so kann man die Interaktionsmöglichkeiten frei auf die Geräte verteilen (vgl. Abbildung 6.4), d.h. jeder Benutzer kann eine Interaktionsmöglichkeit frei wählen, falls es noch freie Möglichkeiten gibt, und die Benutzer können ihre Rollen auch zur Laufzeit wechseln.

Durch diese Rollenverteilung und der daraus resultierenden Abhängigkeit der einzelnen Benutzer voneinander lassen sich Lernwelten erstellen, welche nur durch eine Zusammenarbeit der ganzen Gruppe gelöst werden kann. Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Anzahl der möglichen Benutzer stark vom Lernszenario abhängt und alle Benutzer den gleichen Blick auf die Welt haben, da nur ein Ausgabegerät benutzt wird.

### 6.1.2.3 Verteilte Virtuelle Welten

Verteilte Virtuelle Welten ermöglichen es mehreren Benutzern sich in einer Welt zu bewegen und mit ihr zu interagieren, wobei jeder Beteiligte einen individuellen Blick auf diese Welt hat (vgl. Abbildung 6.5). Dies entspricht sehr stark den natürlichen Begebenheiten, da jeder Benutzer die Welt aus seiner eigenen Perspektive betrachten kann. Andere Benutzer in dieser Welt werden meist als Avatare repräsentiert. So kann der Lernende die anderen Lernenden, den Lehrenden oder computergesteuerte Agenten beobachten und mit ihnen kommunizieren [JRL<sup>+</sup>98]. Dieses „sich verstecken“ hinter dem Avatar ermöglicht auch ein sehr gutes Rollenspiel, da die Lernenden sehr frei und ungehemmt ihr Rolle spielen können. Ähnlich wie bei der im vorherigen Kapitel angesprochen verteilten Interaktion eignet sich diese Interaktionsmöglichkeit sehr gut zur Schulung der Teamfähigkeit. Durch

den unterschiedlichen Blick auf das Szenario kann die Teamarbeit noch stärker unterstützt werden, da nicht alle Lerner die gleichen visuellen und akustischen Informationen erhalten und somit auf Informationen von anderen Gruppenmitgliedern angewiesen sind. Es lassen

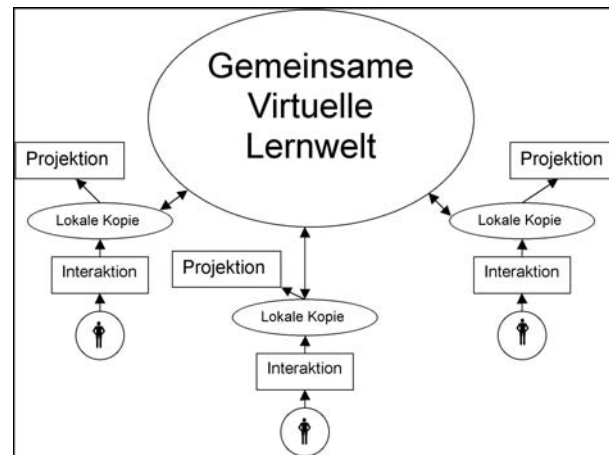


Abbildung 6.5: Interaktion in einer verteilten Lernwelt

sich dadurch Aufgaben stellen, die nur durch Zusammenarbeit der ganzen Gruppe gelöst werden können.

Der Nachteil dieser Interaktionsmöglichkeit ist, dass jeder Benutzer eine eigene VR Umgebung benötigt, was die Kosten sehr stark ansteigen lässt. Außerdem muss eine Steuerung des Avatars durch den Benutzer erfolgen, was zumindest für eine realistische Darstellung des Avatars sehr aufwändig ist.

Dieses Interaktionsszenario lässt sich recht einfach für Desktop VR Szenarien anwenden, da hierbei die Hardwarekosten deutlich geringer sind als bei immersiver Darstellung. Die notwendigen Steuerdaten können auch über eine Internetverbindung übertragen werden. Diese Technologie wird zur Zeit sehr stark für Multiplayerspiele im Internet eingesetzt.

Für Lernwelten die die Technologie der Erweiterten Realität nutzen ist dies das natürliche Interaktionsszenario, da bei Erweiterter Realität jeder Benutzer immer ein eigenes Display und somit einen eigenen Blick auf das Szenario hat. Die Kommunikation der einzelnen Systeme erfolgt hier am Besten über ein drahtloses Netzwerk, um die Bewegungsfreiheit der Benutzer nicht einzuengen.

### 6.1.2.4 Verteilte Interaktion in geteilten und gemeinsamen Welten

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen verteilten Virtuellen Welten erfordern für jeden Benutzer ein eigenes Ausgabegerät. Dadurch entstehen, besonders bei immersiver Präsentation und hohen Benutzerzahlen, sehr hohe Kosten. Dies verhindert meist den Einsatz als immersive Virtuelle Lernwelt. Außerdem können durch die Isolation in der Verteilten Welt gewünschte soziale Komponenten unterbunden werden, da man seine Teammitglieder nur noch als virtueller Avatar mit eingeschränkten Kommunikationsmöglichkeiten sieht.

Das im Folgenden näher erläuterte Interaktionsszenario ermöglicht auch bei sehr großen Gruppen eine Interaktion aller Gruppenmitglieder, verhindert die soziale Isolation und ermöglicht es alle bisher beschriebenen Interaktionsszenarien abzubilden. Erreichte lässt sich dies durch eine Verbindung von einer gemeinsamen virtuellen Welt auf einer immersiven



Großleinwand und einer vernetzten privaten Welt auf einem eigenen Ausgabegerät. Nutzt man für die Interaktion virtuelle Geräte (vgl. Kapitel 7.1.4), welche auf einem Display dargestellt werden, so kann man dieses Display auch nutzen, um darauf weitere Informationen zu präsentieren. Diese Informationen können auch eine weitere Virtuelle Welt sein, welche einen Ausschnitt der gemeinsamen Welt, einen eigenen Blick auf diese Welt oder gar eine komplett eigene Welt darstellen kann.

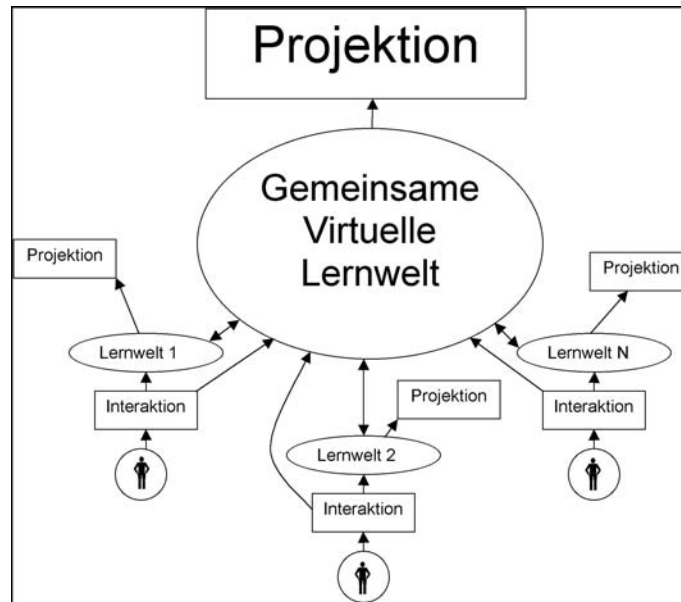


Abbildung 6.6: Verteilte Interaktion in einer verteilten Lernwelt

Dieses Szenario ermöglicht es viele verschiedene Interaktionsmöglichkeiten umzusetzen. Viele der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Möglichkeiten lassen sich so nutzen und zusammenfassen. Ebenso wie bei der verteilten Interaktion (vgl. Kapitel 6.1.2.2) kann eine begrenzte Anzahl der Benutzer direkt mit der gemeinsamen Welt interagieren. Die hierzu notwendigen Interaktionsgeräte werden entweder als virtuelle Geräte auf dem Display dargestellt oder stehen als reale Geräte jedem Benutzer zur Verfügung. Die Interaktionsmöglichkeiten können dynamisch an die Bedürfnisse der Virtuellen Welt angepasst und von den Benutzern zur Laufzeit angefordert oder wieder abgegeben werden. Ebenso kann die Lehrperson die Interaktion an die Lerner verteilen. Zusätzlich können jedem Benutzer Interaktionsmöglichkeiten in seiner privaten Virtuellen Welt zugänglich sein. Eine Interaktionsart, die sich in einem solchen Szenario für fast jede Lernwelt anbietet, ist das Sammeln von Informationen. Während auf der gemeinsamen Projektion z.B. eine Führung durch ein antikes Gebäude präsentiert wird, kann sich der Benutzer an jeder Station der Führung in seiner eigenen Version des Gebäudes an der gleichen Stelle umsehen und Informationen über bestimmte Objekte abfragen. Er ist somit nicht an den Ausschnitt der Welt, wie sie auf der großen Projektion dargestellt wird gebunden, sondern er kann sich nach eigenen Interessen umsehen. Das System kann aus den Aktionen der einzelnen Besucher in ihrer eigenen Virtuellen Welt erfahren welche Objekte die meisten Benutzer in ihrer privaten Darstellung betrachten und diese genauer auf der immersiven Projektion präsentieren, somit kann auch die Interaktion durch Abstimmung in dieses System integriert werden. Aktionen in der privaten Welt können auch direkten Einfluss auf die gemeinsame Welt haben,

z.B. indem jeder Benutzer in seiner privaten Virtuellen Welt Aufgaben lösen muss, deren Lösungen dann in die gemeinsame Welt übertragen werden.

Diese Interaktionsform ermöglicht es viele Benutzer in einer Virtuellen Welt interagieren zu lassen, ohne für jeden eine eigene Projektion zu benötigen. Es wird dafür für jeden Benutzer ein Interaktionsgerät mit Ausgabemöglichkeit benötigt. Hierfür lassen sich aber normalerweise Geräte nutzen, welche auch für andere Aufgaben, wie z.B. Multimediaanwendungen oder Internetverbindungen, eignen und somit auch außerhalb der Virtuellen Lernwelten genutzt werden können. Ein Konzept für ein solches Interaktionsgerät wird im Kapitel 7 ausgearbeitet.

Dieses Szenario eignet sich sehr gut für größere Gruppen, in denen jeder Benutzer gewisse Interaktionsmöglichkeiten haben soll.

### 6.1.3 Abbildung der Interaktionsszenarien auf die Sozialformen des Unterrichts

Eine der in Kapitel 2 herausgearbeiteten Anforderungen an Virtuelle Lernwelten ist es die vier verschiedenen Sozialformen des Unterrichts (vgl. Kapitel 2.2.3) abbilden zu können. Die im vorherigen Kapitel entwickelten Interaktionsszenarien leisten dies. Da sowohl bei den Interaktionsszenarien als auch den Sozialformen meist Mischformen auftreten und die Übergänge zwischen den einzelnen Formen teilweise fließend sind, ist eine klar abgegrenzte Zuordnung nicht möglich. Die in der folgenden Tabelle gemachten Zuordnungen bieten daher nur eine grobe Übersicht und können von Fall zu Fall abweichen.

Interaktion einer einzelnen Person (siehe Abbildung 6.1)	Frontalunterricht, Einzelunterricht
Interaktion mehrerer Personen mit einem Interaktionsgerät (siehe Abbildung 6.2)	Gruppenunterricht, Partnerarbeit
Interaktion mehrerer Personen mit mehreren Interaktionsgeräten (siehe Abbildung 6.4)	Gruppenunterricht, Partnerarbeit
Interaktion durch Abstimmung (siehe Abbildung 6.3)	Gruppenunterricht
Interaktion in einer verteilten Welt (siehe Abbildung 6.5)	Gruppenunterricht, (Partnerarbeit)
Verteilte Interaktion in einer verteilten Welt (siehe Abbildung 6.6)	Gruppenunterricht, (Partnerarbeit)

## 6.2 Gruppeninteraktion in Virtuellen Lernwelten

Die Art und Weise wie sich eine Gruppeninteraktion für Virtuelle Lernwelten realisieren lässt, hängt von mehreren Faktoren ab. Neben dem Inhalt der Virtuellen Lernwelt spielen vor allem die Gruppengröße und die Anzahl der immersiven Ausgabegeräte eine wichtige Rolle.

Gruppeninteraktion wird in Virtuellen Welten meist durch eine verteilte Virtuelle Welt oder durch eine Abstimmung der Eingaben der einzelnen Gruppenmitglieder erzielt. In Virtuellen Lernwelten ist diese Abstimmung, mit dem daraus resultierenden geringen Einfluss des einzelnen Benutzers, keine befriedigende Lösung, daher ist es wichtig weitere Szenarien zu Gruppeninteraktion einsetzen zu können. Besonders die sozialen Komponenten einer

solchen Gruppeninteraktion spielen im Lernprozess oft eine große Rolle und sollte von dem Interaktionsszenario gefördert werden.

### 6.2.1 Definition des Gruppenbegriffs

Da keine exakte Definition des Gruppenbegriffs und keine klare Abgrenzung zwischen verschiedenen Gruppengrößen existiert, werde ich mich im Rahmen dieser Arbeit auf folgende Typologie beziehen [Dre03]:

**Gruppen:** In der Soziologie werden Gruppen folgendermaßen definiert: „Eine soziale Gruppe umfasst eine bestimmte Zahl von Mitgliedern (Gruppenmitglieder), die zur Erreichung eines gemeinsamen Ziels (Gruppenziel) über längere Zeit in einem relativ kontinuierlichen Kommunikations- und Interaktionsprozess stehen und ein Gefühl der Zusammengehörigkeit (Wir-Gefühl) entwickeln. Zur Erreichung des Gruppenziels und zur Stabilisierung der Gruppenidentität ist ein System gemeinsamer Normen und eine Verteilung der Aufgaben über ein gruppenspezifisches Rollendifferential erforderlich.“ [Sch80]

Man unterscheidet im allgemeinen zwischen zwei Gruppengrößen, wobei es keine klare Definition der beiden Größen gibt:

- **Kleingruppen:** Als Kleingruppen werden im Rahmen dieser Arbeit Gruppen mit etwa 3-25 Mitgliedern bezeichnet. Dies deckt sich in etwa mit üblichen Klassengrößen in der institutionellen Bildung.
- **Großgruppen:** Gruppen die mehr Mitglieder haben werden als Großgruppen bezeichnet. Großgruppen treten beispielsweise bei großen Präsentationen im Rahmen öffentlicher Ausstellungen auf.

**Mengen/Massen:** Als Mengen bezeichnet man eine anonyme Ansammlung mehrerer Individuen, wie sie z.B. in einem Theater vorkommen. Ist diese Menge dicht gedrängt, so spricht man von einer Masse.

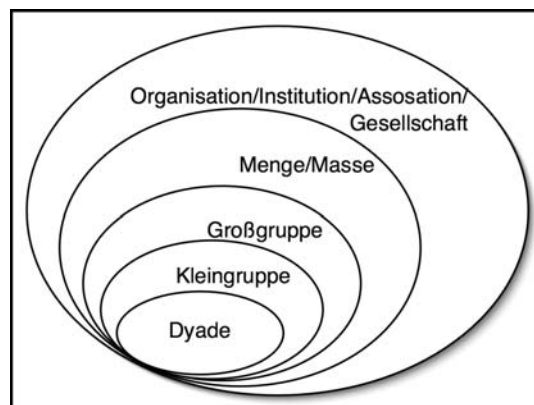


Abbildung 6.7: Typologie der unterschiedlichen Gruppengrößen

Nicht alle Forderungen aus der Definition sozialer Gruppen werden von den betrachteten Lerngruppen in vollem Umfang erfüllt. Während an institutionellen Lernorten vorausgesetzt werden kann, dass die Gruppe ein gemeinsames Gruppenziel hat, das sie über einen

längeren Zeitraum verfolgen und dabei ein Wir-Gefühl entwickeln, ist dies an öffentlichen Lernorten nur selten der Fall. Besucher eines Museums oder Science Parks haben beim Betrachten eines interaktiven Ausstellungsstücks oft unterschiedliche Ansprüche und damit auch unterschiedliche Ziele während die einen etwas über das behandelte Thema lernen wollen, suchen andere Unterhaltung und Spaß. Der Zeitraum über den die Mitglieder der Gruppen in einem Kommunikations- und Interaktionsprozess stehen, wird sich an öffentlichen Lernorten auf die Dauer der Präsentation beschränken. Daher werden sich Rollendifferentiale, wie sie in Gruppen an institutionellen Lernorten oft schon bestehen oder vom Lehrenden verteilt werden, nur dann ausbilden, wenn sie durch die Interaktion mit der Welt gefordert werden.

### 6.2.2 Gruppenparameter

Das Verhalten von Gruppen wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Neben der Gruppengröße spielt vor allem die Zusammensetzung der Gruppe und ihre Motivation eine große Rolle.

#### 6.2.2.1 Kommunikationsstrukturen

Gruppenstrukturen lassen sich durch Kommunikationsnetze (vgl. Abbildung 6.8) beschreiben, welche sich normalerweise in einem ständigen Prozess bilden und umformen. Dieser Prozess lässt sich auch von außen beeinflussen, z.B. durch eine feste Rollenverteilung bei der Interaktion. Diese Kommunikationsnetze lassen sich auch auf die Interaktion in einer

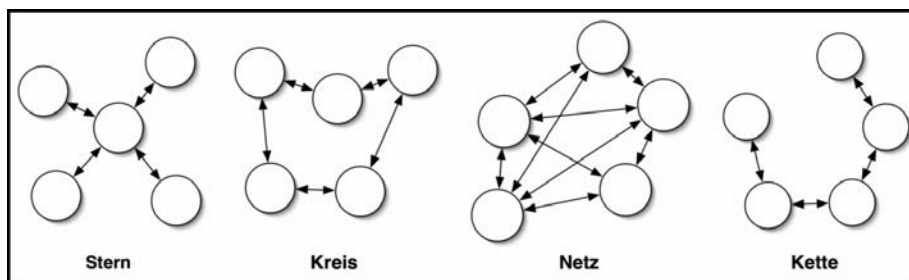


Abbildung 6.8: Kommunikationsnetze

Virtuellen Lernwelt übertragen, wobei die Art des Netzes sich zur Laufzeit ändern kann und Mischformen möglich sind.

Bei gefestigten Gruppen, wie z.B. in einem Klassenverband kann auf den vorhandenen Kommunikationsstrukturen und Rollenverteilungen aufgebaut werden. Dies ist an öffentlichen Lernorten, mit heterogener Zusammensetzung der Gruppe, meist nicht möglich.

#### 6.2.2.2 Größe der Gruppe

Einen großen Einfluss auf die Gruppeninteraktion in einer Virtuellen Welt hat die Gruppengröße. Je größer eine Gruppe ist, desto geringer wird der Einfluss des Einzelnen auf den Ablauf der Präsentation. Mit steigender Gruppengröße wird auch der Entwurf einer Aufgabenteilung und Ablaufsteuerung immer schwieriger.

Daher werden in den meisten aktuellen Interaktionsszenarien für Großgruppen weder individualisierte Eingabegeräte und Interaktionstechniken noch ausgeprägte Rollendifferentiale eingesetzt. Man setzt statt dessen meist auf demokratische Mehrheitsentscheide. Zwar lassen sich damit interessante und komplexe Aufgaben abbilden, für einen sinnvollen Einsatz in Lernumgebungen sind Majoritätsentscheide aber meist nicht die beste Wahl.

Durch das universelle Interaktionsgerät lassen sich einige neue Interaktionsmöglichkeiten für Gruppen realisieren. Diese grundlegenden Konzepte werden später genauer erläutert.

### 6.2.2.3 Struktur der Gruppe

Die Struktur der Gruppe lässt sich in den hier betrachteten Fällen nicht beeinflussen. Je nach Lernort werden unterschiedliche Gruppenstrukturen in der Virtuellen Lernwelt interagieren.

In festen Klassenverbänden wird man eine feste Gruppenstruktur vorfinden. Existieren in einem Bereich meist feste Gruppenstrukturen, so können diese bei der Entwicklung und Planung von Interaktionsszenarien berücksichtigt werden.

### 6.2.2.4 Gruppenmotivation

Die Motivation der Gruppe, sowie der einzelnen Mitglieder, trägt viel zu ihrer Interaktion in der Virtuellen Welt bei. Unmotivierte Personen werden sich mehr vom Ablauf der Präsentation mitziehen lassen, anstatt sie selbst zu beeinflussen. Für Einzelpersonen kann die Motivation sich an der Interaktion zu beteiligen stark sinken, wenn ihr Anteil an der Interaktion nur sehr gering ist, wie dies z.B. bei Majoritätsentscheidungen der Fall ist.

Ziel eines Interaktionsszenarios für Gruppeninteraktion muss es sein die Gruppe und ihre einzelnen Mitglieder zur Interaktion mit der Welt zu motivieren. Dies wird mit zunehmender Gruppengröße immer schwieriger.

### 6.2.3 Aufgabenverteilung für Gruppeninteraktionen

Die Schwierigkeit bei Gruppeninteraktionen in Virtuellen Welten besteht meist darin eine sinnvolle Aufgabenteilung zu finden. Viele Aufgaben lassen sich nur in eine geringe Anzahl von Teilaufgaben unterteilen, so dass auch nur wenigen Personen eine spezielle Aufgabe zugeordnet werden kann. Werden für die Bewältigung der Aufgaben physikalische Eingabegeräte eingesetzt, so kommt noch hinzu, dass entsprechend viele Geräte benötigt werden und die Benutzer immer wieder Geräte wechseln müssen. Außerdem muss sichergestellt sein, dass jeder Benutzer den für die Lösung seiner Aufgabe benötigten Ausschnitt aus der Virtuellen Welt sehen kann, was besonders bei gemeinsamen Virtuellen Welten problematisch ist. Diese Probleme steigen mit der Teilnehmerzahl stark an.

Durch den Einsatz eines Touchscreen als Ein- und Ausgabegerät lassen sich einige der beschriebenen Probleme lösen. Durch die Integration weiterer Ausgabekanäle auf dem Interaktionsgerät können Interaktionsaufgaben auch komplett auf die GUI ausgelagert werden, was sehr flexible Interaktionsszenarien, auch mit nur einem immersiven Ausgabegerät, ermöglicht (vgl. Kapitel 6.1.2.4). Durch die Nutzung weiterer Ausgabekanäle auf dem Interaktionsgerät erhöht sich die Anzahl an möglichen Aufgaben, da auch Aufgaben gestellt werden können, die in der Virtuellen Welt nur schwer darstellbar sind, wie z.B. Datenbankrecherchen. Eine weitere Möglichkeit die Anzahl an möglichen Aufgaben zu erhöhen, ist

dadurch gegeben, dass nicht jede Aufgabe einen Beitrag zur Lösung des Problems leisten muss. Besonders in Lernwelten lassen sich Interaktionsmöglichkeiten definieren, welche nur den einzelnen Lerner betreffen, nicht aber die Gruppe, z.B. das Abfragen von vertiefenden Informationen oder das Sammeln und speichern von Wissensinhalten.

Da nicht alle Aufgaben unabhängig voneinander sind, ergibt sich ein Geflecht aus abhängigen und unabhängigen Teilaufgaben, die zur Lösung des Problems nötig sind. Diese Aufgaben lassen sich als gerichteter, azyklischer Graph darstellen (siehe Abbildung 6.9). Eine rein sequentielle Anordnung der Aufgaben ist nur für Einzelbenutzer- oder Kleingruppensenarien sinnvoll, da immer nur eine Aufgabe bearbeitet werden kann. Eine rein parallele

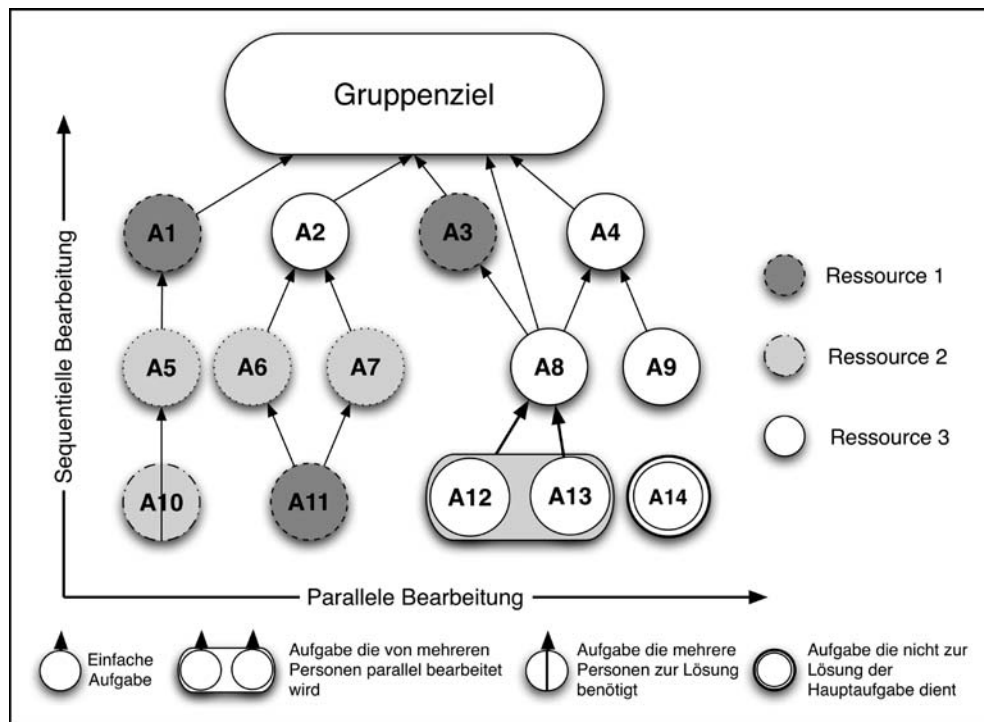


Abbildung 6.9: Aufgabenverteilung in einer Multi-User Lernwelt

Anordnung ermöglicht es zwar, dass alle Benutzer gleichzeitig interagieren können, verhindert aber zum großen Teil eine Kommunikation der Teilnehmer untereinander, da jeder mit seiner Aufgabe beschäftigt ist. Am interessantesten sind Mischformen, welche eine gute Koordination innerhalb der Gruppe erfordern.

Es lassen sich verschiedene Aufgabentypen unterscheiden:

- **Einfache Aufgaben:** Ein Aufgabentyp, der normalerweise von einem Benutzer alleine gelöst wird.
- **Aufgaben, die parallel bearbeitet werden:** Diese Aufgaben werden von mehreren Benutzern gleichzeitig oder gemeinsam gelöst. Man kann auch hier zwischen kooperativer Arbeit, bei der zwei oder mehr Benutzer diese Aufgabe gemeinsam, meist auch am gleichen Interaktionsgerät lösen und konkurrierender Arbeit, bei der nur die erste Lösung für den weiteren Ablauf verwendet wird. Hierzu kann auch die Interaktion durch Abstimmungen gezählt werden.

- **Aufgaben, die mehrere Benutzer benötigen:** Solche Aufgaben können nur von mehreren Benutzern in Teamarbeit gelöst werden. Jeder Benutzer hat sein eigenes Interaktionsgerät, mit dem er seinen Teil der Aufgabe bearbeitet.
- **Isolierte Aufgaben:** Diese Aufgaben tragen nicht oder nur indirekt zur Lösung der Gruppenaufgabe bei. Hierunter können z.B. das Sammeln von vertiefenden Informationen oder das Umsehen in einer Welt fallen. Diese Aufgaben dienen daher persönlichen Interessen oder der Vertiefung von Wissen.

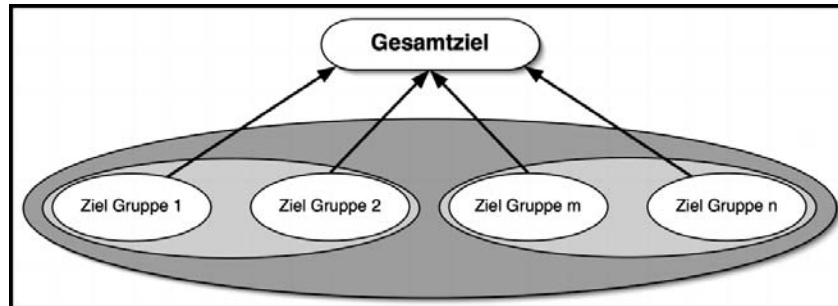


Abbildung 6.10: Aufteilung der Gruppe in mehrere Untergruppen

In Lernwelten kann meist eine große Anzahl von isolierten Aufgaben eingesetzt werden. Vor allem an öffentlichen Lernorten bietet sich eine gute Möglichkeit auf die Interessen der einzelnen Besucher, welche meist sehr unterschiedliche Interessengebiete haben, einzugehen. Es lassen sich somit über den Ablauf der Präsentation allgemeine Informationen zu dem behandelten Thema vermitteln, während die Benutzer über das universelle Interaktionsgerät jederzeit in der Lage sind diese Informationen zu vertiefen oder sich verwandte Themengebiete anzusehen. Über eine Auswertung der von den Benutzern auf ihrem privaten Ausgabegerät betrachteten Themen kann diese, eigentlich nur für den einzelnen interessante, Aktion für die Gruppe genutzt werden, z.B. indem auf der gemeinsamen Projektion die Bereiche gezeigt werden, die die meisten Benutzer interessieren. So können die Benutzer durch ihre Aktionen in der privaten Welt indirekt darüber abstimmen, was in der gemeinsamen Welt passiert.

Die Aufgabenverteilung kann fest vorgegeben oder zur Laufzeit frei vergeben werden. Eine feste Vergabe der Aufgaben entspricht eher einer festen Rollenverteilung, d.h. einer festen Aufgabenteilung, z.B. in Kapitän, Navigator, Mechaniker, während bei einer freien Verteilung das Rollendifferential erst während der Präsentation ausgebildet wird oder gar nicht zustande kommt.

Vor allem bei sehr großen Gruppen reicht eine solche Aufteilung meist nicht aus, um alle Gruppenmitglieder sinnvoll zu beschäftigen. Es bietet sich an die Gruppe in mehrere kleinere Gruppen aufzuteilen und jeder Gruppe ein eigenes Gruppenziel zuzuordnen. Die Gruppen können hierbei wieder miteinander kooperieren, d.h. alle oder mehrere Gruppenziele werden für die Lösung des Gesamtziels benötigt und die Gruppen können Informationen austauschen oder konkurrieren, d.h. alle Gruppen haben das gleiche oder ähnliche Gruppenziel und nur die erste Lösung wird für das Erreichen des Gesamtziels benötigt.

### 6.2.3.1 Aufgabenklassen

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Aufgaben lassen sich meist in unterschiedliche Aufgabenklassen einordnen. Eine Unterscheidung kann u.a. nach Aufwand, benötigten Ressourcen, z.B. bestimmten Ein- oder Ausgabegeräten, oder zugeordneten Rollen geschehen.

Sind die einzelnen Aufgabenklassen nicht fest zugeordnet, können die Benutzer also verschiedene Aufgabenklassen bearbeiten, so kann es sinnvoll sein, den Wechsel zwischen verschiedenen Klassen zu kontrollieren oder einzuschränken. Kann jeder Benutzer frei

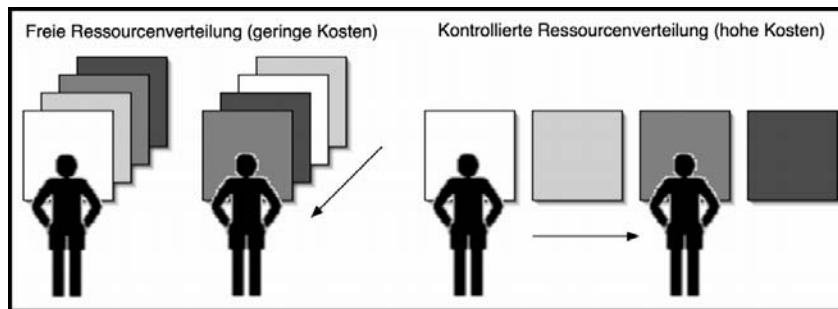


Abbildung 6.11: Gruppenverhalten je nach Kosten

zwischen den verschiedenen Aufgaben wechseln und entstehen ihm bei diesem Wechsel keine Nachteile, so werden gute und schnelle Lerner sehr schnell ihre Aufgaben lösen und sofort zur nächsten Aufgabe wechseln. Es wird somit nur schwer eine Kommunikation und Interaktion innerhalb der Gruppe aufkommen. Da nicht alle Ressourcen in jeder Virtuellen Lernwelt in beliebiger Menge verfügbar sind, z.B. existiert bei einer gemeinsamen Virtuellen Welt nur ein immersives Ausgabegerät, tritt der oben beschriebene Fall nur selten in Reinform auf.

Da Gruppeninteraktion und -kommunikation normalerweise eine wichtige Rolle in Lernprozessen spielen, wenn sie nicht gar Gegenstand des Lernprozesses sind, werden Möglichkeiten zur Steuerung dieser Effekte benötigt. Dies kann durch eine geschickte Konzeption der im vorherigen Kapitel beschriebenen Aufgabenverteilung, aber auch durch eine Kontrolle der Rollen und dem Zugriff auf bestimmte Ressourcen geschehen. Vor allem seltene Ressourcen, wie z.B. die immersive Projektion in einem Single-Screen Szenario oder spezielle Eingabegeräte erfordern von sich aus eine Kontrolle des Zugriffs, wenn sie von mehreren Personen benötigt werden. Durch die Einführung von künstlichen Kosten für bestimmte Aktionen kann dies auch auf andere Dinge übertragen werden. Diese Kosten können prinzipbedingt schon im System vorhanden sein, z.B. durch aufwendigen Wechsel von Interaktionsgeräten, oder aber künstlich in die Virtuelle Welt integriert werden, z.B. über verlängerte Ladezeiten von Datensätzen oder verzögertem Wechsel zwischen verschiedenen Benutzungsoberflächen.

Ist das Nutzen und das Wechseln der Ressourcen mit Kosten verbunden, so muss für eine optimierte Lösung der Zugang zu den Ressourcen geregelt werden. Hierbei werden sich Rollendifferentiale ausbilden, da einige Teilnehmer schon Zugang zu bestimmten Ressourcen haben und somit einfacher Aufgaben lösen können, die diese Ressource erfordern.



### 6.2.4 Zugriffskontrollen

Durch die oben beschriebene Ressourcenknappheit ist es nötig eine Zugriffskontrolle für solche Ressourcen vorzusehen. Es existieren verschiedene Möglichkeiten dies zu realisieren:

- **Feste Verteilung:** Bei einer festen Rollenverteilung wird normalerweise auch gleichzeitig der Zugriff auf die einzelnen Ressourcen geregelt. Die Verteilung geschieht vor dem Beginn der Präsentation entweder von der Lehrperson oder durch die Lerner selbst. Diese Rollenverteilung wurde für das in Kapitel 8.4 beschriebene Anwendungsbeispiel gewählt.
- **Automatische Verteilung:** Das System verteilt den Zugriff auf die benötigten Ressourcen automatisch, z.B. abhängig von der aktuellen Aufgabenverteilung, der Zeit oder didaktischen Gesichtspunkten.
- **Von außen geregelte Verteilung:** Die Verteilung der Ressourcen wird von außen geregelt. In Virtuellen Lernwelten wird diese Aufgabe meist die Lehrperson übernehmen.
- **Selbstgeregelt Verteilung:** Die Benutzer können selbst entscheiden welche Ressourcen sie benötigen und diese anfordern oder übernehmen. In den meisten Fällen muss der Benutzer den momentanen Nutzer der Ressource fragen, ob dieser die Ressource frei gibt [FBB<sup>+</sup>02].

### 6.2.5 Unterscheidung zwischen verteilten und gemeinsamen Virtuellen Welten

Beim Aufbau einer Gruppeninteraktion für Virtuelle Welten ist, neben der Gruppengröße, auch zu unterscheiden zwischen Virtuellen Welten, in denen sich die Benutzer ein immersives Ausgabegerät teilen und solche bei denen jeder sein eigenes immersives Ausgabegerät zur Verfügung hat (vgl. Abbildung 6.12). Steht nur ein Ausgabegerät zur Verfügung, so haben alle Teilnehmer den gleichen Blick auf die Szene, was zu Konflikten bei der Interaktion führen kann. Solche Probleme treten bei verteilten Virtuellen Welten nicht auf, da jeder Benutzer sein eigenes Ein- und Ausgabegerät besitzt. Durch die komplette Immersion in der Virtuellen Welt werden aber soziale Aspekte des Lernens vernachlässigt, da jeder Lerner seinen Gegenüber nur als virtuellen Avatar mit eingeschränkter Ausdrucksweise und Gestik wahrnimmt. Dies kann in einigen Fällen vorteilhaft sein, wenn dadurch etwa

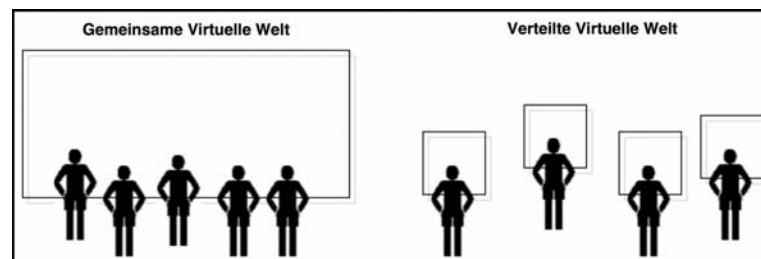


Abbildung 6.12: Gruppeninteraktion in einer gemeinsamen und in verteilten Virtuellen Welten

ein Rollenspiel frei von sozialen Ordnungen und persönlichen Vorbehalten durchgeführt werden kann. Normalerweise ist aber gerade die soziale Interaktion ein wichtiger Punkt im Lernprozess.

Schon aus Kostengründen wird man an den meisten Lernorten nur ein einziges immersives Ausgabegerät pro Gruppe einsetzen. Neben der Kostenersparnis bringt dieser Aufbau aber auch weitere Vorteile. Durch die räumliche Präsenz der einzelnen Gruppenmitglieder spielen auch sozialpsychologische Parameter beim Lernen in solchen Welten eine Rolle. Untersuchungen haben gezeigt, dass zwei Personen vor einem Rechner effektiver arbeiten als eine Person oder zwei Personen an zwei Rechnern [IBKU95]. Arbeiten mehrere Personen an einer Desktop Anwendung, so kommt es meist zu Problemen, da meist nur eine Maus und eine Tastatur unterstützt wird. Ebenso können Aktionen von einem Benutzer die Aktionen anderer Benutzer stören, z.B. wenn ein Menü die Elemente überdeckt, die ein anderer Benutzer benötigt. Diese Problematik ist ein wichtiges Forschungsgebiet und wird durch Interaktionsparadigmen wie z.B. „Single Display Groupware“ angegangen [BIS<sup>+</sup>99, SBD99]. Ähnliche Probleme ergeben sich bei der Gruppeninteraktion vor einer immersiven Projektion.

### 6.2.6 Unterscheidung nach Gruppengröße

Die Größe der Gruppen spielt eine große Rolle bei der Interaktionsplanung für Virtuelle Welten. Während Interaktion für Kleingruppen sich meist noch leicht mit herkömmlichen Konzepten realisieren lässt, stellt eine Großgruppe hohe Anforderungen an das Konzept, um jedem Mitglied der Gruppe eine sinnvolle Interaktion zu ermöglichen.

#### 6.2.6.1 Kleingruppen

Für kleine Gruppengrößen, etwa bis zu 20 Teilnehmern, lassen sich sinnvolle Interaktionsformen noch relativ leicht finden. Vor allem bei sehr kleinen Gruppen ist sowohl die Definition von Aufgaben für den Einzelnen als auch die Organisation innerhalb der Gruppe meist noch leicht möglich (vgl. Kapitel 8.4).

Bei sehr kleinen Gruppen kann es schon reichen, wenn nur ein Touchscreen als universelles Eingabegerät zur Verfügung steht, durch die Größe des Displays haben auch mehrere Benutzer die Möglichkeit die virtuellen Geräte zu nutzen und die Ausgaben zu sehen. Dies entspricht dann der in Kapitel 7.6.1 beschriebenen Möglichkeit.

Je nach Virtueller Welt kann die Interaktion auch auf mehrere Benutzer verteilt werden. Bei kleinen Gruppen lässt sich die komplexe Interaktionsaufgabe meist noch in genügend Teilaufgaben aufteilen, so dass jeder Benutzer möglichst direkt mit der Virtuellen Welt interagiert. Ebenso ist es hier auch denkbar die Interaktionsmöglichkeit des Einzelnen auf kurze Zeiträume zu beschränken, um somit allen Benutzern die Möglichkeit zu geben in einem gegebenen Zeitraum zu interagieren.

Bei dieser Gruppengröße lassen sich auch verteilte Virtuelle Welten (vgl. Kapitel 6.1.2.3) mit immersiver Darstellung meist noch mit vertretbaren Kosten aufbauen. Sowohl die entstehenden Kosten, als auch die System- und Netzwerkbelastung durch viele Teilnehmer bleiben dann in einem überschaubarem Rahmen.

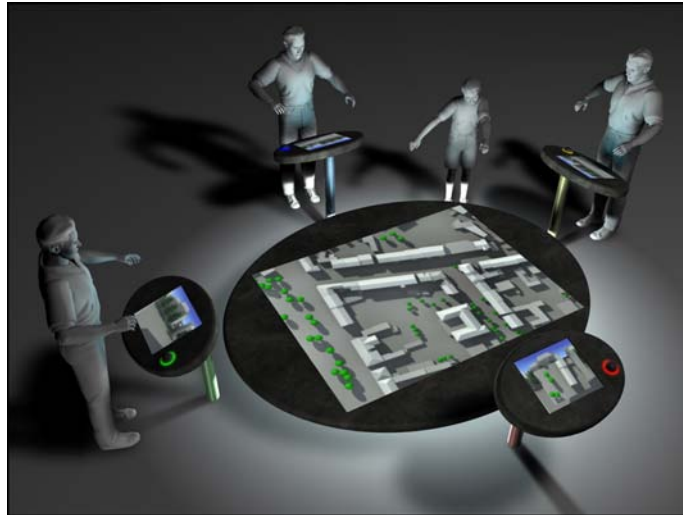


Abbildung 6.13: Gruppeninteraktion an einen Virtual Table

### 6.2.6.2 Großgruppen

Ebenso wie bei Kleingruppen lässt sich auch bei Großgruppen die Gruppeninteraktion mittels Verteilter Virtueller Welten lösen. Hierbei besitzt jeder Benutzer eigene Ein- und Ausgabegeräte und kann entsprechend frei interagieren und seinen Standpunkt in der Virtuellen Welt ändern. Durch die weite Verbreitung von Internetzugängen sind Verteilte Welten besonders bei Computerspielen sehr beliebt (vgl. Abbildung 6.14). Bei Massive-Multi-



Abbildung 6.14: Beispiel für ein Massive-Multi-Player-Rollenspiel

User-Spielen befinden sich teilweise mehrere hundert Spieler gleichzeitig in einer Welt, wobei erst wenige dieser Spiele 3D Technologien nutzen. Da jeder Spieler normalerweise als Avatar in der virtuellen Welt repräsentiert wird und alle Änderungen in der Welt übertragen werden und die Welt mit allen Avataren in Echtzeit gerendert werden muss, wird bei 3D Spielen meist die Spielerzahl beschränkt. Diese Technologie lässt sich auch für Virtuelle Lernwelten nutzen. Probleme sind hierbei die hohen Kosten die entstehen, da jeder Benutzer eine eigene Ausrüstung benötigt, was besonders bei immersiver Darstellung sehr stark ins Gewicht fällt.

Ein großes Problem stellt eine individuelle Interaktion der Mitglieder einer Großgruppe in

einer Virtuellen Welt mit nur einer Projektionsfläche dar. Gängige Lösungen, wie z.B. das CINEMATRIX System, mitteln die Eingaben mehrerer Benutzer und bilden diesen Mittelwert auf eine Interaktionsaufgabe ab. Die Eingaben der Benutzer werden mittels Kameratracking von zweifarbigen Kellen, über Laserpointer [JYO02] oder über Knöpfe in den Sitzen erfasst. Im Kyongju VR Theater in Korea [PKK<sup>+</sup>02] erfolgt die Interaktion über ein Keypad mit 6 Tasten (zwei Funktionstasten und 4 Richtungstasten). Das Publikum lässt sich in drei Untergruppen aufteilen, hierzu sind die Key pads farblich kodiert. Theoretisch kann somit jeder der 615 Besucher ein Objekt auf der Projektion steuern, was aber aufgrund der Schwierigkeiten bei der Zuordnung - jeder der Besucher müsste sein Objekt auf der Projektion wiedererkennen - in der Praxis nicht eingesetzt wird. Stattdessen wird die Eingabe der Benutzer entweder gesamt oder je Gruppe gemittelt und dann zur Interaktion genutzt.

Das Mitteln von Benutzereingaben ermöglicht eine quasi unendlich große Benutzerzahl, senkt aber den Einfluss der einzelnen Benutzer. Dadurch dass Benutzer nur indirekten Einfluss auf die Interaktion haben, lässt sich für den einzelnen Benutzer nur schwer feststellen, in wie weit er die Interaktion beeinflussen kann, was zu Unzufriedenheit führen kann.

Die Firma *Immersion Studios* bietet ein System namens *Immersion Cinema* an, welches Touchscreens zur Steuerung einsetzt. Je zwei Personen teilen sich einen Touchscreen, welchen sie für die Interaktion nutzen. Es existieren zwei verschiedene Interaktionsformen, erstens können die Benutzer an bestimmten Stellen des Film mittels Abstimmung entscheiden wie der Film weiter gehen soll, zweitens können sie während des Films auf dem Touchscreen vertiefende Informationen sammeln [Stu02].

Durch Touchscreens als universelle Interaktionsgeräte wird jedem Besucher jeweils ein eigenes Display zur Verfügung gestellt, welches weitere Medien darstellen kann. Es ist sogar möglich eine, möglicherweise reduzierte Kopie der Virtuellen Lernwelt auf dem Display zu präsentieren. Man hat dadurch eine Mischung aus verteilten Desktop VR Welten und einer immersiven Präsentation. Diese Konfiguration stellt ein sehr flexibles System für Gruppeninteraktion dar. Dadurch, dass der Benutzer auch ohne Zugriff auf die gemeinsame Virtuelle Welt interagieren kann, können die Probleme, die durch den gemeinsamen Blickpunkt auf die Virtuelle Lernwelt entstehen reduziert werden. Interaktionsaufgaben können so gestaltet werden, dass sie nur den Zugriff auf das Interaktionsgerät benötigen und die immersive Projektion für andere Aufgaben genutzt werden kann. Einige Interaktionsaufgaben lassen sich in einer stereoskopischen Darstellung nur schwer lösen, z.B. Datenbankrecherchen oder freihändiges Zeichnen. Solche Aufgaben können mit dem im Folgenden Kapitel erarbeiteten universellen Interaktionsgerät realisiert werden, was die Anzahl an möglichen Aufgaben stark erhöht.

Durch die Integration isolierter Aufgaben können sich sehr viele Personen mit der Virtuellen Welt beschäftigen. Derartige Teilaufgaben lassen sich parallel und unabhängig voneinander bearbeiten. Wie in Kapitel 6.2.3 beschrieben, eignet sich das Sammeln von Informationen sehr gut als isolierte Interaktionsmöglichkeit für Virtuelle Lernwelten.

Durch die Auslagerung von Interaktionsaufgaben auf das Interaktionsgerät kann auch die Anzahl der Zugriffe auf das VR System über das Netzwerk reduziert werden. Je nach Menge der zu übertragenden Daten pro Zugriff, der Frequenz der Zugriffe, dem eingesetzten Netzwerkprotokoll und der Art des Netzwerks kann es bei zu vielen Zugriffen zu Performanzproblemen kommen [FBBR03].

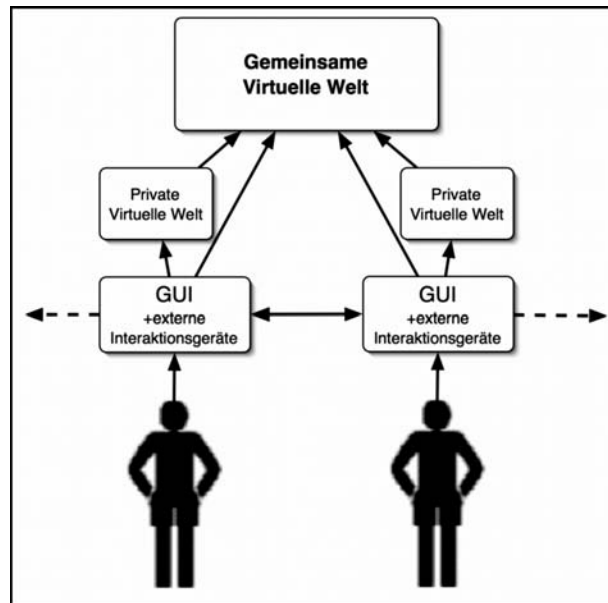


Abbildung 6.15: Kommunikations- und Interaktionsmöglichkeiten

## 6.3 Zusammenfassung

Da Virtuelle Lernwelten von unterschiedlichen Benutzergruppen, von Einzelbenutzern bis Großgruppen, und in verschiedenen Situationen genutzt werden, wurden zusätzlich verschiedene Interaktionsszenarien dargestellt. Diese Interaktionsszenarien wurden auf die anfangs beschriebenen Sozialformen des Unterrichts abgebildet.

Des Weiteren wurden, ausgehend von einer Definition des Gruppenbegriffs und der Beschreibung verschiedener Gruppenparameter, Konzepte zur Gruppeninteraktion in Virtuellen Lernwelten erarbeitet. Durch das im nächsten Kapitel vorgestellte universelle Interaktionsgerät werden neue Interaktionsmöglichkeiten eröffnet, welche besonders bei der Interaktion in Großgruppen zum Tragen kommen. Hierzu wurden Konzepte zur Aufgabenteilung und Zugriffskontrolle entwickelt.



## 7 Konzeption und Realisierung eines universellen Interaktionsgeräts

Lernwelten stellen besondere Anforderungen an Interaktionsgeräte. Forderungen wie die Einsetzbarkeit für verschiedene Altersgruppen, Multicodalität, Flexibilität und intuitive Bedienbarkeit, erschweren die Suche nach geeigneten Interaktionsgeräten die alle Forderungen erfüllen. In diesem Kapitel wird daher ein Klassifikationsschema für Interaktionsgeräte entwickelt, welches Entscheidungsträgern bei der Auswahl geeigneter Geräte helfen soll. Aufbauend auf die hierfür durchgeführte Diskussion verschiedener Interaktionsgeräte und den Anforderungen, die im Kapitel 2 erarbeitet wurden, wird danach ein universell einsetzbares intelligentes Interaktionsgerät für Virtuelle Lernwelten entwickelt.

### 7.1 Klassifikationsschema für Interaktionsgeräte

Wie in der Begriffsdefinition zu Virtuellen und Erweiterten Welten erläutert, bildet die Interaktivität ein wichtiges Merkmal Virtueller Welten. Schon für die Navigation durch die Virtuelle Welt werden spezielle Geräte benötigt, da die zu steuernde virtuelle Kamera sechs Freiheitsgrade besitzt, nämlich drei für die Translation und drei für die Rotation. Hinzu kommen können noch weitere Dimensionen wie z.B. die Zeit. Gewöhnliche Eingabegeräte, wie etwa Maus oder Joystick, unterstützen meist nur zwei translatorische Freiheitsgrade, da sie für eine Interaktion in einer zweidimensionalen Darstellung ausgelegt sind. Durch den Einsatz mehrerer solcher Eingabegeräte oder durch Schalter, wie z.B. die unterschiedlichen Maustasten oder Tasten auf der Tastatur, können diese Geräte weitere Freiheitsgrade steuern, die Bedienung wird dadurch aber sehr viel komplizierter und der Benutzer muss sich verstärkt auf die richtige Benutzung der Interaktionsgeräte konzentrieren.

Zu der Kamerasteuerung kommen dann, je nach Anwendung, noch weitere Interaktionsmöglichkeiten, welche weitere Eingaben des Benutzers benötigen und somit weitere Interaktionsgeräte nötig machen.

Da sich die Virtuelle Realität in den letzten Jahren in der Industrie sehr stark etabliert hat wurden für diese Anwendungen auch spezielle Interaktionsgeräte entwickelt. Die gebräuchlichsten Geräte sind hierbei die Spacemouse als sechsdimensionales Eingabegerät, das hauptsächlich zur Navigation in virtuellen Welten eingesetzt wird und der Datenhandschuh, welcher zur Manipulation von Objekten innerhalb einer Virtuellen Welt genutzt wird.

Erfahrungen aus vielen öffentlichen Präsentationen Virtueller Welten, mit einer Vielzahl unterschiedlicher Interaktionsgeräte, haben gezeigt, dass speziell für die Interaktion mit Virtuellen Welten entwickelte Geräte meist nicht sehr gut für solche Präsentationen geeignet sind, da sie in der Bedienung einige Übung voraussetzen [BEF<sup>+</sup>02]. Eingabegeräte, wie z.B. Maus und Tastatur, welche den Benutzern geläufig sind, eignen sich aber oft nur eingeschränkt zur Interaktion mit Virtuellen Welten, da sie für die Interaktion mit zweidimensionalen Oberflächen entwickelt wurden. Die Auswahl geeigneter Interaktionsgeräte

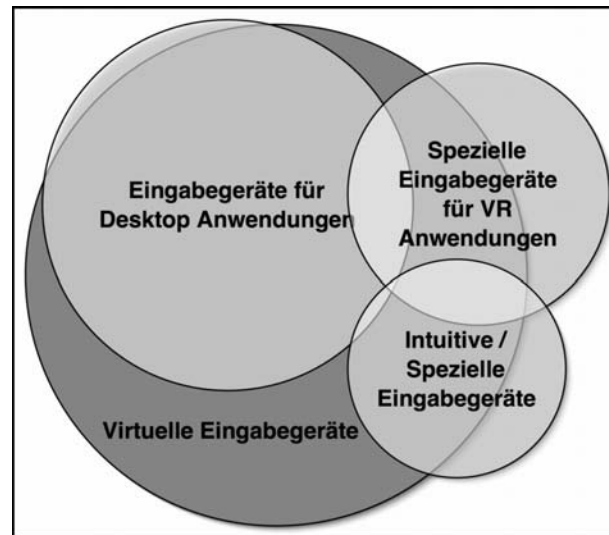


Abbildung 7.1: Klassifikationsschema für Interaktionsgeräte

hängt aber stark vom betrachteten Szenario und der damit verbundenen Interaktionsaufgaben ab.

Ein weiteres Entscheidungskriterium für geeignete Interaktionsgeräte ist die Zielgruppe, welche angesprochen werden soll. Experten stellen andere Ansprüche an die Genauigkeit, Geschwindigkeit und Vielfalt an Interaktionsmöglichkeiten als Laien. Besonderes Augenmerk auf die Benutzbarkeit von Geräten ist nötig, wenn die Benutzer Kinder sind, da viele Geräte, ebenso wie Einstellungen wie z.B. der Augenabstand, auf Erwachsene ausgerichtet sind [Rou00].

In der Zukunft werden sich noch weitere Interaktionsmöglichkeiten entwickeln. So werden z.B. für das Forschungsgebiet Ambient Intelligence Geräte entwickelt, die auch die Interaktion mit Virtuellen Welten erleichtern können. Um die Auswahl von geeigneten Interaktionsgeräten zu erleichtern wurden die möglichen Interaktionsgeräte in vier Gruppen eingeteilt. Im Folgenden sollen diese vier verschiedenen Arten von Interaktionsgeräten betrachtet und ihre Eignung für den Einsatz in Virtuellen Lernwelten untersucht werden.

### 7.1.1 Spezielle Eingabegeräte für Virtuelle und Erweiterte Realität

Wie in der Einleitung beschrieben, wurden sehr viele Eingabegeräte entwickelt, welche speziell auf die Bedürfnisse von virtuellen Welten zugeschnitten sind. Diese Geräte unterstützen die Möglichkeiten virtueller Welten, wie z.B. sechsdimensionale Eingabe oder räumliche Positionierung, sehr gut. Teilweise werden solche Geräte auch an öffentlichen Lernorten erfolgreich eingesetzt, wobei sich ein Wand als Interaktionsgerät an einigen Stellen bewährt hat [GCR01].

Für den Einsatz in Lernumgebungen sind viele dieser Geräte aber nicht oder nur schlecht geeignet. Das größte Problem hierbei ist, dass sie meist einen geübten Benutzer voraussetzen. Beispielhaft sei hierfür die Benutzung einer Spacemouse beschrieben. Die Spacemouse besteht hauptsächlich aus einem zentralen Zylinder, welcher beweglich gelagert ist und sowohl verschoben als auch verdreht werden kann. Schiebt der Benutzer den Zylinder in eine Richtung, so bewegt sich die virtuelle Kamera in diese Richtung, wobei die Ge-



schwindigkeit der Bewegung von der Auslenkung des Zylinders abhängt. Genauso wird die Rotation des Zylinders in eine Rotation der Kamera umgesetzt. Da der Auslenkungsbereich des Zylinders nicht sehr groß ist, muss die Bewegung sehr feinfühlig erfolgen, um die Kamera nicht zu schnell zu bewegen oder zu rotieren. Ein weiteres, und nach Erfahrungen mit vielen ungeübten Benutzern das schwerwiegendste Problem ist, dass es sehr leicht passiert, dass der Benutzer beide Bewegungsarten ungewollt mischt, also bei der Translation den Zylinder leicht kippt und umgekehrt. Solche Navigationsfehler muss der Benutzer immer wieder korrigieren, um sein gewünschtes Ziel zu erreichen. Somit wird die Konzentration des Benutzers sehr stark von der Navigation in Anspruch genommen. Durch die



Abbildung 7.2: Datenhandschuh und HMD als spezielle VR Eingabegeräte

Einschränkung der Interaktionsmöglichkeiten, z.B. durch das Einfrieren der virtuellen Kamera auf einer gewissen Höhe für die Navigation, lassen sich einige der hier beschriebenen Probleme reduzieren [BH95]. Ein weiteres Problem ist, dass diese Geräte für Erwachsene entwickelt wurden und für Kinder somit oft zu groß sind [Joh00]. Vor allem Datenhandschuhe sind nur in Erwachsenengrößen erhältlich, wobei hierbei der Handschuh auf jede Hand speziell kalibriert werden muss, was ein weiteres Problem für den Einsatz darstellt. Im Gegensatz zu den Eingabegeräten für Virtuelle Realität haben sich auf dem Feld der Erweiterten Realität bisher noch kaum spezielle Geräte etabliert. Bei Erweiterter Realität wird keine bewusste Interaktion des Benutzers zur Navigation in der Welt benötigt, da die Virtuelle Kamera immer mit der realen Position und Orientierung des Kopfes zur Deckung gebracht wird und die Navigation somit über die Bewegung des Benutzers gesteuert wird. Zur Steuerung der Anwendung werden entweder modifizierte 2D Eingabegeräte, wie z.B. Maus oder Gamepad, oder Gesten und Spracheingabe benutzt. Spezielle AR Geräte stellen meist auch spezielle Anforderungen an die Interaktionsgeräte. Für das AR Fernglas sind z.B. nur zwei Knöpfe, jeweils einer am rechten und am linken Griff des Geräts [LS04].

### 7.1.2 Eingabegeräte für Desktopanwendungen

Durch die weite Verbreitung der Desktop-Metapher zur Steuerung von Computeranwendungen sind die hierbei genutzten Interaktionsgeräte und -metaphern sehr gut entwickelt und untersucht. Viele Benutzer sind mit dem Umgang mit diesen Geräte und der eingesetz-

ten Metaphern vertraut. Durch die vorher beschriebenen Probleme, die aus der gesteigerten



Abbildung 7.3: Gamepad

ten Komplexität einer mehrdimensionalen Steuerung resultieren, ist es nur schwer möglich diese Interaktionsgeräte sinnvoll in einer Virtuellen Lernwelt zu nutzen.

Die gesteigerte Leistungsfähigkeit moderner Rechner ermöglicht es auch zu Hause komplexe dreidimensionale Welten zu betrachten. Besonders genutzt wird dies im Bereich der Computerspiele, welche sich mit Desktop VR Anwendungen vergleichen lassen. Zur Bedienung dieser Spiele werden neben Maus und Tastatur meist noch weitere Eingabegeräte eingesetzt, welche sich auch zur Interaktion mit Virtuellen Welten eignen. Hier ist vor allem das Gamepad zu nennen. Diese Geräte bieten meist einen kleinen Joystick sowie mehrere Köpfe. Damit können sowohl Navigationsaufgaben als auch weitere Aktionen durchgeführt werden. Vorteilhaft sind diese Geräte da sie günstig sind und, zumindest Personen die Computerspiele spielen, bekannt sind. Für ungeübte Benutzer besteht hier wieder das Problem, dass die Benutzung des Gerätes erlernt werden muss, erschwerend kommt hinzu, dass oft die Belegung der Tasten von Anwendung zu Anwendung wechselt, was immer wieder ein Umdenken erforderlich macht.

### 7.1.3 Intuitive und spezielle Eingabegeräte

Für viele Einsatzgebiete bietet es sich an spezielle Eingabegeräte zu entwickeln. Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden, zum Einen können die Geräte entworfen sein, um die Bedienung der Lernwelt möglichst einfach und intuitiv zu gestalten, zum Anderen können diese Eingabegeräte ein Teil des Lerninhalts sein.

#### 7.1.3.1 Intuitive Eingabegeräte

Das ideale Eingabegerät für eine virtuelle Lernwelt ist das, welches von den Benutzern sofort intuitiv benutzt werden kann, ohne dass vorher eine Einführung in die Bedienung notwendig wäre. Dies ist insbesondere bei komplexen Lernwelten wichtig, um nicht bei jeder neuen Interaktionsmöglichkeit die Bedienung eines neuen Gerätes lernen zu müssen. Oft kann man dieses Ziel erreichen, indem man Alltagsgegenstände in Eingabegeräte umwandelt. Ein Beispiel für ein VR Eingabegerät, welches intuitiv funktioniert ist das HMD, bei dem die Kopfbewegung analog in eine Bewegung der virtuellen Kamera umgesetzt wird. Durch die genaue Umsetzung der in der Realität genutzten Verhaltensweise in die

Virtuelle Welt und das sofortige Feedback können die Benutzer die Interaktion, hier die Steuerung der virtuellen Kamera, intuitiv durchführen.

Erreichen kann man diesen Effekt auch dadurch, dass man reale Objekte zu Interaktionsgeräten umformt. Im Kapitel 8.1 wird gezeigt wie eine reale Taschenlampe zur Steuerung einer virtuellen Lichtquelle genutzt werden konnte. In allen mit diesem Eingabegerät durchgeführten Präsentationen, z.B. während der Sonderausstellung „50 Jahre Fraunhofergesellschaft“ im Deutschen Museum in München, wurde das Gerät von den Benutzern sofort intuitiv richtig eingesetzt, da dies ihren normalen Gewohnheiten entsprach.

Der Vorteil dieser realen Objekte als Interaktionsgeräte ist sicherlich das Wegfallen der

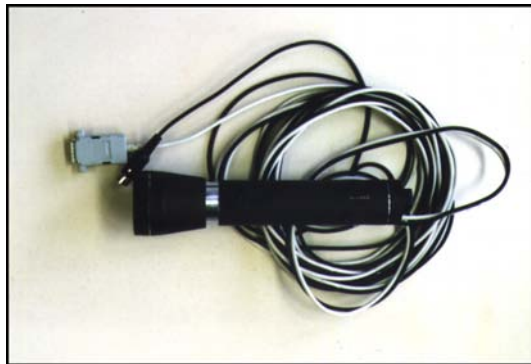


Abbildung 7.4: Taschenlampe als Eingabegerät für Virtuelle Welten

Einarbeitungsphase. Die Benutzer können sich sofort auf die virtuelle Welt konzentrieren, ohne von der Eingabe abgelenkt zu werden. Dies erhöht auch das Gefühl der Immersion, da die Geräte nicht von der Welt ablenken, sondern sogar ein Teil der präsentierten Umgebung sind und sich somit nahtlos in die Präsentation einfügen.

So groß die Vorteile auch sind, nicht immer können intuitive Eingabegeräte eingesetzt werden. Viele Aufgaben können nicht oder nur schwer auf reale Objekte abgebildet werden. Werden für eine Lernwelt viele verschiedenartige Interaktionsgeräte benötigt so würden hierfür genauso viele reale Objekte benötigt, was dem intuitiven Gebrauch dieser Geräte widerspricht, da der Benutzer immer entscheiden muss, welches Gerät er für welche Aufgabe benötigt und er die Geräte oft wechseln muss. Problematisch ist dabei auch, dass die Übertragung der Daten von den Geräten zum Rechner meist über Kabel erfolgt, was die Benutzung der Geräte, vor allem wenn viele Geräte eingesetzt werden oder mehrere Benutzer die Virtuelle Welt betrachten, sehr erschwert. Hier eignen sich universelle Eingabegeräte, wie sie im Kapitel 7.1.4 beschrieben werden, besser. Eine Verbesserung dieser Problematik könnte die immer weiter fortschreitende drahtlose Verbindung von Geräten über Bluetooth sein.

### 7.1.3.2 Eingabegeräte als Teil des Lerninhalts

In einigen Lernwelten kann der Lerninhalt zu einem großen Teil darin bestehen die Bedienung spezieller Geräte zu erlernen. Als bestes Beispiel für ein solches Szenario kann die Flugsimulation dienen. Der Pilot wird in der Benutzung der Instrumente und Bedienelemente eines Flugzeug geschult, indem er ein exaktes Abbild dieser Instrumente benutzt um ein simuliertes Flugzeug zu steuern. Um hierbei in die Realität übertragbare Lernergebnis-



Abbildung 7.5: Nachbildung eines Cockpits zur Steuerung eines Flugsimulators

se zu erhalten, müssen die Interaktionsgeräte in ihrem Aussehen und Verhalten möglichst exakt den realen Geräten entsprechen. In einem solchen Szenario gibt es kaum Alternativen zu diesen speziellen Eingabegeräten. Besteht keine Möglichkeit die benötigten Geräte als reale Eingabegeräte zu bauen, können die in Kapitel 7.1.4 beschriebenen virtuellen Geräte genutzt werden. Es ist aber hierbei mit schlechteren Lernergebnissen zu rechnen.

### 7.1.3.3 Berührungslose Eingabegeräte

Eine weitere Klasse von Eingabegeräten sind solche, die auf die Aktionen des Benutzers reagieren, ohne dass der Benutzer aktiv an einem Gerät Eingaben machen muss. Darunter sind z.B. Trackingsysteme zu verstehen, welche die Bewegungen des Benutzers erfassen. Die bekanntesten Beispiele hierfür sind Trackingsysteme, welche Position und Orientierung des Kopfes erfassen und daraus Bewegungen der virtuellen Kamera erzeugen. Solche Systeme werden für die Kamerasteuerung bei HMD- und CAVE Anwendungen oder auch für Augmented Reality Systeme benötigt. Eine weitere Möglichkeit solche Interaktionsge-

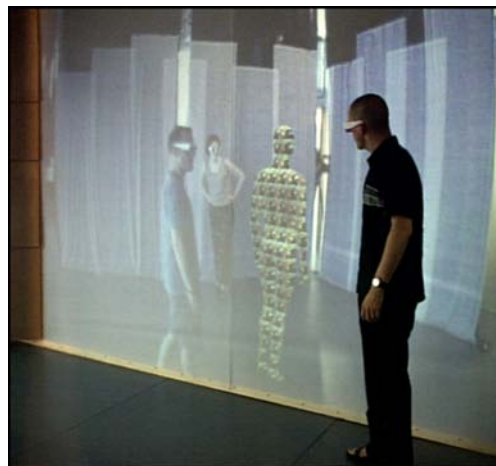


Abbildung 7.6: Der Augmented Man erkennt die Besucher mittels Kameratracking

räte zu realisieren ist Kameratracking, bei dem die Position und Bewegungen der Benutzer mittels einer oder mehrerer Kameras erfasst und ausgewertet werden, diese Technologie

wurde u.a. bei der Präsentation „Augmented Man“ oder im Kidsroom [BID<sup>+</sup>96] eingesetzt.

Dadurch, dass der Benutzer die Interaktion nicht direkt tätigt, kann es passieren, dass er den Zusammenhang zwischen Aktion und Reaktion nicht erfasst und er somit nur schwer versteht wie er mit dem System interagieren kann.

### 7.1.4 Virtuelle Eingabegeräte

Eine weitere Möglichkeit die Anzahl der verwendeten Geräte einzudämmen ist es virtuelle Geräte zu verwenden und diese Geräte in der Virtuellen Welt, oder besser noch auf einem speziellen Ausgabegerät zu präsentieren. Solche virtuellen Geräte sind den meisten Benutzern von der Arbeit mit Arbeitsplatzrechnern vertraut. Die meisten Benutzungsoberflächen heutiger Rechner stellen eine Vielzahl solcher virtuellen Geräte zur Verfügung, um dem Benutzer die Interaktion mit dem System zu erleichtern. Dies kann auf die Interaktion mit Virtuellen Welten übertragen werden.

Es ist möglich solche Interaktionsgeräte in die Virtuelle Welt zu integrieren und bei Be-



Abbildung 7.7: Virtuelle Geräte zur Einstellung von Datum und Uhrzeit

darf in das Blickfeld des Benutzers einzublenden. Die Benutzungsoberfläche wird somit ein Teil der Virtuellen Welt. Zur Bedienung der virtuellen Geräte wird dann nur noch ein reales Gerät benötigt. Im NICE Projekt [RJM<sup>+</sup>99] wurde diese Interaktionsmöglichkeit genutzt. Das Benutzungsoberfläche wurde in die Welt integriert und durch einen *Virtual Wand* gesteuert. Durch die gute Integration der Bedienelemente in die Virtuelle Welt, konnten die Kinder im NICE Projekt Wolken über die Blumen ziehen, um diese zu gießen. Durch die sofortige Reaktion des Systems auf eine solche Aktion konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Auch in dem Projekt „The Virtual Venue“ [BKJP01] wurden Interaktionsmetaphern wie die Menüselektion in die Virtuelle Welt integriert. Problematisch hierbei ist, dass die Geräte den Blick des Benutzers auf die Szene beeinträchtigen können, außerdem kann durch schlecht integrierte Eingabegeräte ein Bruch in der Darstellung der Welt entstehen, welcher die Immersion beeinträchtigen kann. Erscheinen solche Geräte nur als virtuelle Darstellung von Geräten im Raum kann es zu Problemen bei der Auswahl von Bedienelementen kommen, da den Benutzern eine haptische Rückkopplung fehlt und sie sich auf ihr Raumgefühl verlassen müssen.

Um diese Effekte zu vermeiden, kann man die virtuellen Geräte auf einem eigenen Display darstellen, womit das Problem der Verdeckung der Szene gelöst wäre. Als Ausgabegeräte können die verschiedensten Geräte, von einem kleinen tragbaren PDA bis zu einem normalen Monitor, genutzt werden. Monitore bieten eine große Fläche, welche Platz für viele Eingabemöglichkeiten bieten, während PDAs auch für den Einsatz in CAVEs, bei denen der Benutzer von Projektionsleinwänden umgeben ist und für Szenarien, in denen sich der Benutzer bewegt, geeignet sind.

In letzter Zeit werden verstärkt PDAs zur Steuerung Virtueller Welten eingesetzt (vgl. hierzu [BBC<sup>+</sup>02], [GSM93], [WDC] und [HBCN02]). Diese Interaktionsform ist besonders für öffentliche Ausstellungen interessant. Mit der zu erwartenden weiteren Verbreitung und steigenden Leistungsfähigkeit von PDA und Mobiltelefonen kann davon ausgegangen werden, dass viele der Besucher entsprechende Geräte bei sich haben werden, so dass diese privaten Geräte für die Interaktion mit den Exponaten genutzt werden können. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Geräte, die bereit gestellt und ausgeliehen werden müssen, was die Kosten für den Einsatz dieser Interaktionstechnologie weiter senken wird. Ansätze für solche Möglichkeiten lassen sich bei plattformunabhängigen Applikationen wie z.B. *Tweek* [HBCN02] erkennen.

Besonders für Ausstellungen oder feste VR Installationen, wie dies z.B. ein VR Labor in einer Schule sein könnte, eignen sich sehr gut berührungssensitive Bildschirme. Diese Geräte sind sehr robust, haben keine beweglichen Teile oder zusätzliche Geräte und ihre Bedienung ist den meisten Leuten bekannt. Durch die Größe der Benutzungsoberfläche können auch kleine Gruppen dieses Gerät benutzen. Außerdem ermöglicht die große Darstellungsfläche das Gerät auch verstärkt als zusätzliches Ausgabegerät zu nutzen.

### 7.2 Ein intelligentes Interaktionsgerät für Virtuelle Wissenswelten

Die im vorherigen Abschnitt vorgestellten Klassen für Interaktionsgeräte zeigen die Vielfalt an verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten, die es in Virtuellen Welten gibt. Das optimale Interaktionsgerät für eine Virtuelle Lernwelt hängt sehr stark vom Lernort, der Zielgruppe, deren Vorkenntnisse und den zu vermittelnden Wissensinhalten ab. Meist ist es aber nicht möglich immer die optimalen Geräte einzusetzen. Dies ist vor allem an institutionellen Lernorten der Fall, da hier die Anzahl an benötigten Lernwelten und die Heterogenität der Zielgruppen sehr groß ist, was eine große Anzahl an Eingabegeräten nötig machen würde, so dass hier ein universelles Eingabegerät, welches für eine Vielzahl von Szenarien genutzt werden kann, vorteilhaft ist. Auch öffentliche Lernorte können von einem solchen universellen Gerät profitieren, da hiermit die Interaktionsmetaphern für verschiedene Lernwelten ähnlich gestaltet werden können, was die Einarbeitungszeit reduziert.

Wie erläutert, lässt sich ein Großteil der Eingabegeräte durch virtuelle Geräte abbilden (vergl. Abbildung 7.1). Es bietet sich daher an alle benötigten Geräte, soweit möglich, als virtuelle Geräte auf einem Display zu präsentieren. Die hier vorgeschlagene Lösung nutzt ein berührungssensitives Display, um eine Maus als weiteres fehleranfälliges Gerät zu vermeiden. Die Interaktion mit solchen virtuellen Geräten sind viele Benutzer aus der Arbeit an Rechnern mit graphischer Benutzungsoberfläche gewohnt. Bei der Gestaltung der Interaktionsgeräte und ihrer Darstellung kann somit auf bekannte Metaphern und auf die Erfahrungen aus dem Screendesign für 2D Anwendungen zurückgegriffen werden.



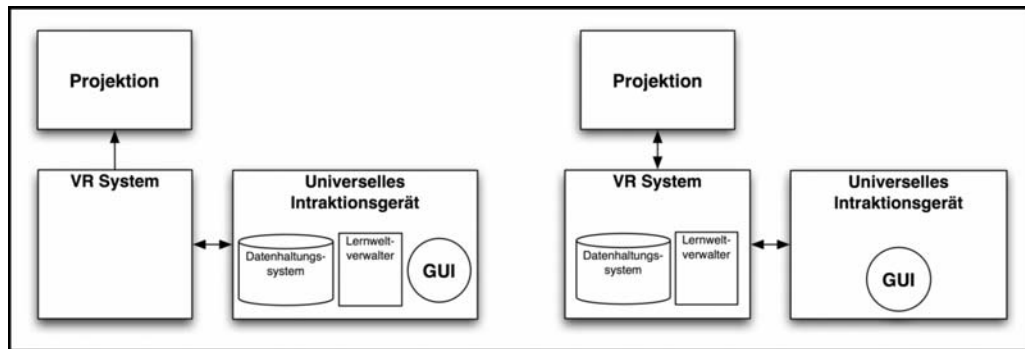


Abbildung 7.8: Zwei mögliche Aufbauschemata des universellen Interaktionsgeräts

Als Displays bieten sich sowohl kleine, mobile Geräte, wie z.B. PDAs, als auch stationäre Geräte, wie z.B. ein System aus Rechner und Touchscreen an.

Zusätzlich ergibt sich durch diesen Aufbau eine zweite Ausgabemöglichkeit, welche vor allem für Medien, wie z.B. Texte, Bilder und Animationen, welche sonst meist nur unbefriedigend in Virtuelle Welten integriert werden können, eingesetzt werden kann. Ist der eingesetzte Rechner leistungsfähig genug, können auch weitere dreidimensionale Inhalte präsentiert werden, wie sie z.B. für die Realisierung der in Kapitel 6.1.2.4 beschriebenen Interaktionsform nötig sein können. Die Kommunikation mit dem VR System erfolgt über ein Netzwerk, wobei die Art des Netzwerks relativ frei gewählt werden kann. Das Gerät kann z.B. über ein LAN, ein Funknetz oder über das Internet eingebunden werden. Bei Szenarien, in denen die Interaktion zeitkritisch ist, muss die Latenzzeit des Netzwerks beachtet werden.

Ein Vorteil dieses Interaktionsgeräts ist, dass die benötigte Hardware meist schon in Ausbildungsstätten vorhanden ist, z.B. als Rechner im Multimedia Labor, und somit keine weitere Kosten verursacht. Die Firma Apple Computer [App03] bietet z.B. speziell für Schulen ein System an, welches aus mehreren Laptops besteht, die über ein Funknetzwerk miteinander kommunizieren. Ein solches System lässt sich sehr gut zur Steuerung der in Kapitel 6 be-



Abbildung 7.9: Das mobile, drahtlose Klassenzimmer von Apple

schriebenen Szenarien zur Gruppeninteraktion in einer Virtuellen Lernwelt nutzen.

Durch die Flexibilität und die Intelligenz dieses Systems entstehen weitere Vorteile. Man ist somit nicht auf die Fähigkeiten des VR Systems zur Realisierung des Lernweltverwalters angewiesen, sondern kann diese Steuerung, zumindest teilweise, auch auf das Interaktionsgerät verlagern. Dies ermöglicht eine einfachere und schnellere Anpassung des Lernweltverwalters und ermöglicht eine flexiblere Auswahl des VR Systems.

Zur Darstellung der virtuellen Geräte wird ein Steuerungsrechner und ein extra Bildschirm benötigt, dies kann auch dazu genutzt werden die Ausgabemöglichkeiten des VR Systems zu ergänzen. Dabei kann das eingesetzte Display zur Darstellung von Informationen und Wissensinhalten genutzt werden, dies ermöglicht u.a. die Integration von privaten Informationen für jeden Benutzer, was für das in Kapitel 6.1.2.4 beschriebene Interaktionsszenario wichtig ist. Die Schnittstellen des eingesetzten Rechners können für den Anschluss von weiteren Ein- und Ausgabegeräten, z.B. zur vereinfachten Navigation mit Joystick oder Trackball, dienen.

### 7.3 Systemarchitektur

Wie oben beschrieben, besteht das Eingabegerät aus einem Rechner mit Display. Der Rechner kann ein handelsüblicher PC sein, ebenso können aber auch PenPCs oder PDAs genutzt werden. Die einzigen Voraussetzungen an das System sind, dass der Rechner leistungsfähig genug ist eine interaktive graphische Benutzungsoberfläche darzustellen und dass er über eine Netzwerkverbindung verfügt. Die ständig steigende Leistungsfähigkeit von Mobiltelefonen wird es auch ermöglichen diese Geräte als Interaktionsgerät zu nutzen. Problematisch für viele Anwendungen dürfte hierbei, ebenso wie bei PDAs, die meist geringe Auflösung der Displays sein, welche nur wenig Platz für Bedienelemente lässt und auch nur bedingt als Ausgabegerät, z.B. für lange Texte oder komplexe Graphiken, dienen kann. Eine Möglichkeit Geräte mit einem zu kleinen Display zum Betrachten größerer Bilder zu nutzen wird in [Yee03] beschrieben.

#### 7.3.1 Kommunikation zwischen GUI und VR System

Zur Steuerung der Abläufe in der Virtuellen Welt ist eine Kommunikation zwischen der Benutzungsoberfläche auf dem Ausgabegerät, d.h. den darauf dargestellten virtuellen Geräten, und dem VR System nötig. Der Ablauf der Kommunikation und die eingesetzten Protokolle hängen stark von den eingesetzten Technologien, dies betrifft das VR System, das Netzwerk und das universelle Eingabegerät, ab. Besonders die Schnittstellen, die das VR System zur externen Steuerung anbietet, bestimmen diese Kommunikation. Es lassen sich daher keine allgemeinen Aussagen über Kommunikationsprotokolle treffen. Es sollen im Folgenden daher beispielhaft zwei Möglichkeiten aufgezeigt werden.

**Kommunikation über das Hypertext Transfer Protokoll:** Ein sehr weitverbreitetes Verbindungsprotokoll ist das Hypertext Transfer Protocol (HTTP), welches für verteilte, kollaborative, hypermedia Systeme genutzt wird [RJJ<sup>+</sup>99]. Dieses Protokoll wird von vielen Autorensystemen und Programmierungsumgebungen unterstützt, so dass auf der Seite des Interaktionsgeräts keine Probleme bei der Nutzung des Protokolls auftreten. Ob dieses Protokoll genutzt werden kann, hängt daher vom eingesetzten VR System ab. Durch die weite Verbreitung bieten sich viele Möglichkeiten Geräte in



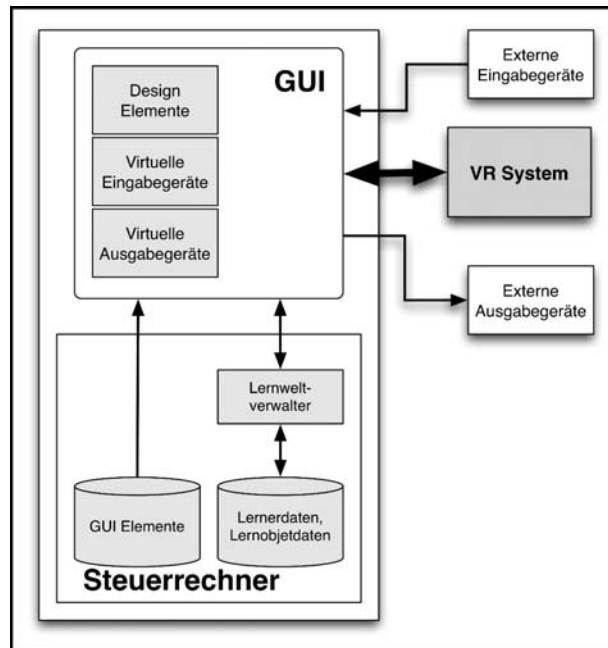


Abbildung 7.10: Systemdiagramm eines universellen Interaktionsgeräts für Lernwelten.

die Interaktion einzubinden, so können, neben dem speziell dafür vorgesehenen Interaktionsgerät, auch PDAs oder Handys genutzt werden. Ebenso kann die Interaktion auch von jedem Gerät mit Internetanschluss beeinflusst werden. Erstellt man die Steuerung mittels HTML, Flash, Shockwave oder einer anderen von Webbrowsern unterstützten Technologie, können die Geräte diese Steuerungen direkt aus dem Netz laden, ohne das spezielle Programme installiert werden müssten.

Problematisch sind die eingeschränkten Kommunikationsmöglichkeiten. Das Protokoll wurde für den Einsatz im Internet konzipiert. Jeder Webserver, und als solcher fungiert das VR System hier, liefert nur auf Anfrage des Client Daten. Demzufolge muss das Interaktionsgerät, welches hier als Client auftritt, entweder die vollständige Kontrolle über den Ablauf haben oder ständig aktiv die Veränderungen der Lernwelt abfragen.

Das für die Präsentation „Der Virtuelle Dom von Siena“ eingesetzte VR System AVALON realisiert einen Webserver und bietet Methoden zum Auslesen und Setzen von Feldwerten über das Internet an. Mittels *SetFieldValue* können Werte von Feldern geändert werden und mittels *GetFieldValue* lassen sich diese Werte wieder abfragen.

Neue plattformunabhängige Kommunikationsprotokolle, wie z.B. RSS (Really Simple Syndication) werden in Zukunft diese Kommunikation noch vereinfachen.

**Kommunikation mittels „Fields and Routes“:** Das Konzept des Szenengraphen hat sich in vielen VR-Systemen etabliert. Die Beschreibung der Szene wird intern in einem hierarchischen Graphen gespeichert. Das Verhalten einer Szene wird in modernen Systemen meist durch die Verknüpfung der Felder und Knoten mittels Routen aufgebaut (vgl. Abbildung 7.13). Betrachtet man die Virtuellen Eingabegeräte als eine externe Erweiterung des Szenengraphen mit Knoten, welche auch Felder enthalten

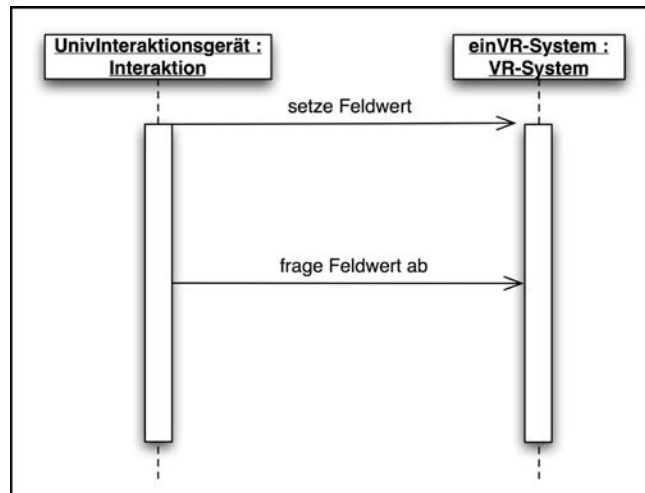


Abbildung 7.11: Sequenzdiagramm „Kommunikation über HTTP“

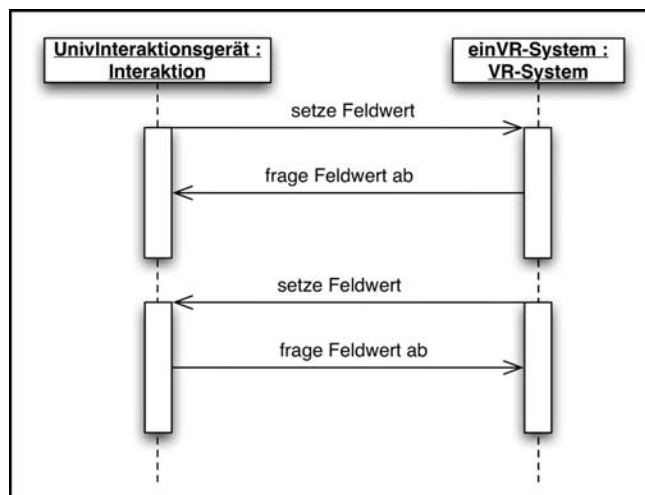


Abbildung 7.12: Sequenzdiagramm „Kommunikation über Fields and Routes“

und durch Routen mit anderen Feldern, sowohl von Knoten weiterer Virtueller Geräte als auch Szenengraphknoten, verbunden sind, so lassen sich diese Geräte einfach in ein bestehendes System integrieren.

Um dieses Konzept umzusetzen, müssen beide Seiten diese Kommunikationsart unterstützen. Dies bedeutet für die Entwicklung der Benutzungsoberfläche eine Einschränkung der eingesetzten Autorensysteme, da für jedes System eine eigene Kommunikationsschnittstelle geschaffen werden müsste.

Für die Kommunikation zwischen VR System und Ein-/Ausgabegerät können normale Netzwerkverbindungen genutzt werden. Besonders durch den Einsatz von WLAN und Internetverbindungen lässt sich eine hohe Flexibilität erreichen. Nutzt man mehrere Interaktionsgeräte, so kann die Kommunikation der Geräte untereinander und mit dem VR System, wie in Abbildung 7.14 verdeutlicht, entweder direkt geschehen, oder über einen zwischengeschalteten Server laufen, wobei auch das VR System als Server genutzt werden

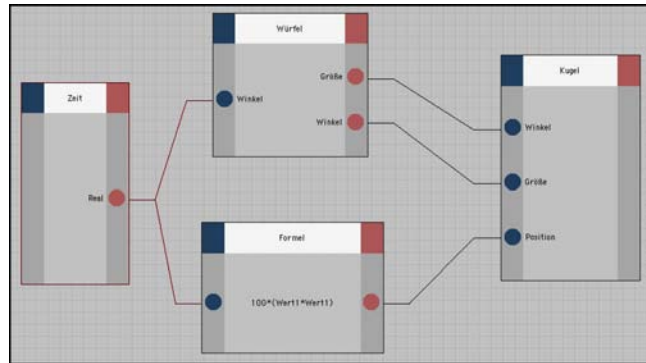


Abbildung 7.13: Beispiel für die Verbindung von Feldern durch Routen

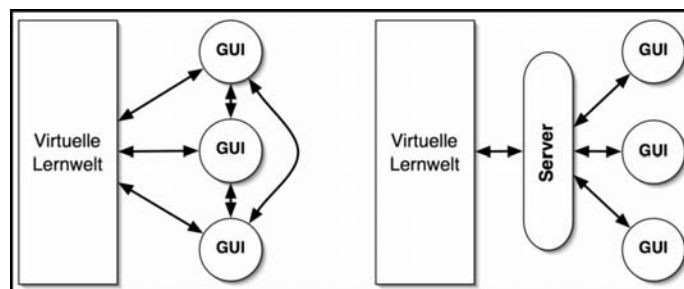


Abbildung 7.14: Möglichkeiten für die Kommunikation zwischen Eingabegerät und VR-System

kann. Die Kommunikation über eine zentrale Stelle vereinfacht die Integration des Lernweltverwalters, da dieser über die Änderungen in der Lernwelt informiert werden muss.

## 7.4 Realisierung der Eingabegeräte

Durch den Einsatz von virtuellen Geräten lassen sich die meisten benötigten Eingabegeräte direkt auf der GUI integrieren und dem Benutzer bei Bedarf zur Verfügung stellen. Da die Darstellung dieser virtuellen Geräte auf einem zweidimensionalen Display geschieht, lassen sich die Erfahrungen aus dem Screen Design und bekannte Desktop Metaphern bei der Erstellung der Benutzungsoberfläche nutzen. Innovative Bedienelemente wie z.B. *Marking Menues* [KB93] oder *FaST Sliders* [MBK02] können ebenso eingesetzt werden wie bekannte Elemente, wie z.B. Kontextmenüs oder Hypertext. Werden Geräte benötigt, die sich nicht als virtuelle Geräte realisieren lassen, so besteht die Möglichkeit diese Geräte zusätzlich als externe Geräte anzubinden.

### 7.4.1 Virtuelle Eingabegeräte

Die benötigten virtuellen Geräte hängen sehr stark von der Lernwelt ab, jedes benötigte Gerät lässt sich aber aus den am Anfang des Kapitel 6 beschriebenen *basic interaction tasks* zusammenstellen. Beispielhaft seien hier einige Realisierungsmöglichkeiten für die Navigation in Virtuellen Welten beschrieben:

- **Absolute Positionierung:** Der Benutzer kann jede gewünschte Position direkt in absoluten Werten angeben. Dies kann durch verschiedene Techniken erreicht werden:
  - Schieberegler: Der Benutzer stellt die gewünschte Position, getrennt nach x, y, z, über Schieberegler ein. Die Schieberegler können mit der Maus oder über Bewegungen auf einem Touchscreen bedient werden.
  - Werteingabe: Der Benutzer gibt die gewünschte Position, getrennt nach x, y, z, als Zahlenwert ein. Ist keine Tastatur vorhanden, so müssen Eingabehilfen realisiert werden, z.B. über eine Gestenerkennung oder mittels Tasten, welche ausgewählte Zahlenwerte hoch oder runter zählen.
  - Karte: Eine sehr intuitive Navigationsmöglichkeit bieten Karten. Der Benutzer bestimmt die gewünschte Position durch Selektion der Position auf einer Karte. Da man dabei nur zwei Dimensionen abdecken kann, muss die dritte Dimension, meist die Höhe, mit einer der vorher genannten Techniken oder durch eine zweite Karte verändert werden.
- **Relative Positionierung:** Der Benutzer gibt nicht die absolute Zielposition vor, sondern nur die Richtung und Geschwindigkeit, mit der er sich bewegen möchte. Möglichkeiten dies zu realisieren sind z.B. Richtungsknöpfe für vor, zurück, links, rechts, hoch und runter, sowie ein Geschwindigkeitsregler.

Sehr weitreichende Möglichkeiten der Anpassung an die Rahmenbedingungen bietet die Flexibilität der Benutzungsoberfläche, die durch den einfachen Austausch der virtuellen Geräte auch zur Laufzeit noch verändert werden kann. So kann die Komplexität und Informationspräsentation vor oder während der Interaktion mit der Lernwelt an unterschiedliche Nutzergruppen angepasst werden und unterschiedliche Geräte und Freiheitsgrade können je nach Erfahrung oder Alter der Benutzer angeboten werden. So können Laien mit einer einfachen und eingeschränkten Benutzungsoberfläche ohne große Einarbeitungszeit interagieren, während Experten erweiterte Möglichkeiten zur Verfügung gestellt werden können. Es können auch Mechanismen integriert werden, welche das Verhalten des Benutzers analysieren und die Oberfläche entsprechend seiner Arbeitsweise optimieren [Jam02]. So kann für jeden Benutzer und jede Aufgabe ein optimales Interface erstellt werden.

Durch diese Flexibilität, die durch die im nächsten Abschnitt beschriebene Möglichkeit weitere reale Geräte anzubinden noch erhöht wird, ist es möglich eine multimodale Interaktion zu realisieren. Dadurch sind die Benutzer nicht auf eine Interaktionsmetapher festgelegt, sondern können sich die für sie geeignetste aussuchen, wodurch die Akzeptanz der Benutzer gesteigert werden kann [AMSL01].

### 7.4.2 Externe Eingabegeräte

Aus verschiedenen Gründen kann es nötig sein weitere Eingabegeräte zusammen mit dem universellen Eingabegerät einzusetzen. Gründe hierfür können sein:

- **Das benötigte Gerät lässt sich nicht als virtuelles Gerät realisieren:** Nicht alle realen Geräte lassen sich auf virtuelle Geräte abbilden. Beispielsweise benötigt man in virtuellen Welten sehr oft die exakte Position und Orientierung von Objekten im Raum, z.B. benötigt das VR System die Position des Benutzers im Raum, um eine korrekte Darstellung der Virtuellen Welt in einer CAVE zu berechnen. Die hierzu

benötigten Trackingsensoren können nicht durch virtuelle Geräte abgebildet werden, sondern müssen als zusätzliche Geräte in das System integriert werden.

- **Die Bedienung des virtuellen Geräts ist nicht ergonomisch:** Viele Geräte lassen sich zwar als virtuelle Geräte realisieren, aber ihre Bedienung wird hierdurch sehr stark erschwert. Texteingaben lassen sich zwar auch über eine virtuelle Tastatur durchführen, der Schreibfluss wird dabei aber gehemmt und die Fehlerhäufigkeit wird stark ansteigen.
- **Es sollen multimodale Interaktionsmöglichkeiten angeboten werden:** In Lernwelten ist es oft sinnvoll mehrere Interaktionsmöglichkeiten für bestimmte Interaktionsaufgaben anzubieten. Dies kann durch alternative virtuelle Geräte oder durch externe Geräte geschehen. So können für die Navigation in der Virtuellen Welt sowohl virtuelle Knöpfe, für ungeübte Benutzer, als auch ein Gamepad, für Benutzer mit Erfahrungen in Computerspielen, eingesetzt werden.

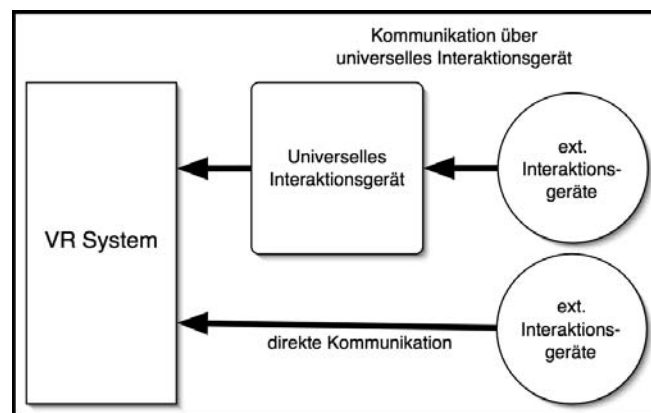


Abbildung 7.15: Möglichkeiten für die Anbindung externer Interaktionsgeräte

Je nach Gerät oder Einsatzzweck können externe Eingabegeräte sowohl direkt als auch über das universelle Eingabegerät mit dem VR System kommunizieren (vgl. Abbildung 7.15). Erfolgt die Kommunikation direkt, was vor allem bei speziellen VR Geräten der Fall sein wird, muss sichergestellt werden, dass das universelle Eingabegerät, ebenso wie der Lernweltverwalter, ständig über den aktuellen Status des VR Systems informiert wird, sonst kann es passieren, dass benötigte virtuelle Geräte nicht zur Verfügung stehen. Steuert das externe Geräte das universelle Eingabegerät, kann dieses Problem vermieden werden, es kommt aber zu deutlich größeren Latenzzeiten, was bei einigen Eingabegeräten kritisch sein kann.

## 7.5 Integration weiterer Ausgabekanäle

Der große Vorteil eines PenPC, Touchscreen oder ähnlichem Gerät gegenüber einem PDA bei der Steuerung Virtueller Welten ist, dass sich die erstgenannten Geräte durch das größere Display, die höhere Auflösung und die größere Rechenleistung wesentlich flexibler als weiteres Ausgabegerät nutzen lassen. Bei der Darstellung von Multimediaobjekten innerhalb der Virtuellen Welt, wie z.B. Texten, Diagrammen oder Animationen, ergeben sich

oft Probleme, u.a. durch schlechte Lesbarkeit und durch die Verdeckung wichtiger Objekte durch die Multimediaobjekte. Solche Medien lassen sich leicht auf den als Interaktionsgerät benutzten Rechner auslagern. Durch die Trennung dieser weiteren Medien, welche oft Wissensinhalte darstellen, von der immersiven Darstellung der Szene wird es ermöglicht, dass sich der Benutzer auf das jeweils benötigte Medium konzentrieren kann, ohne von anderen Medien abgelenkt zu werden. Eine solche Trennung entspricht auch den Erfahrungen der meisten Lerner, da auch in realen Lernumgebungen oft eine solche Trennung vorliegt, z.B. bei einem Experiment im Unterricht, bei dem die benötigten Formeln im Lehrbuch nachgeschlagen werden können.

Es lassen sich hierbei alle Ausgabekanäle des benutzten Rechners einsetzen. Somit können auch Ausgabemöglichkeiten realisiert werden, welche im verwendeten VR System nicht vorhanden sind. Wichtig ist dies vor allem bei dem Einsatz von speziellen Graphik Workstations oder Betriebssystemen, da Standardsysteme meist deutlich mehr Geräte unterstützen. Außerdem kann durch die Auslagerung von solchen Prozessen der Rechenaufwand des VR Systems reduziert werden.

Zusätzlich zu den für die Wissensvermittlung benötigten Informationen lassen sich auch weitere Informationen über das Gerät ausgeben oder speichern. Besonders für Lernwelten bietet es sich an die Aktionen des Benutzers zu protokollieren, um diese Daten später analysieren zu können. Durch ein Protokoll der Benutzerinteraktionen lässt sich z.B. der Ablauf der Lerneinheit nochmals abspielen wodurch z.B. Fehler erkannt und der Ablauf analysiert werden können. Ein solches Protokoll kann auch dazu dienen weitere Informationen für den späteren Gebrauch bereitzustellen. So lässt sich für eine Präsentation während einer Ausstellung z.B. eine Informationsbroschüre oder eine Internetseite mit vertiefenden Informationen zu den betrachteten Objekten aus der Analyse der Benutzerinteressen erstellen. Die während der Interaktion mit der Virtuellen Welt gewonnenen Erkenntnisse lassen sich somit für den späteren Gebrauch festhalten.

Beispiele für weitere Ausgabekanäle und -medien sind:

**Bilder:** Bilder lassen sich zur Darstellung von Photographien, Zeichnungen, Diagrammen, Gemälden o.ä. einsetzen. Die benötigten Bilder können auch in Echtzeit generiert werden (z.B. für Diagramme).

**Töne:** Verfügt das VR System über keine oder nur unzureichende Möglichkeiten zur Tonausgabe, kann diese Aufgabe auch vom Interaktionsgerät übernommen werden. Töne, die die Interaktion unterstützen (Audiofeedback beim Drücken von Knöpfen, Warntöne, ...) können auch ohne Umweg über das VR System und parallel zu dessen Tonausgabe ausgegeben werden.

**Texte:** Da lange Texte sich schlecht in Virtuelle Welten integrieren lassen bietet sich eine Ausgabe, möglicherweise unterstützt durch Audioausgabe des Textes, auf dem Interaktionsgerät an. Somit lassen sich vielfältige Formatierungsmöglichkeiten und Hypertext nutzen. Hypertexte können auch wieder zur Interaktion genutzt werden, z.B. als *spatial hyperlinks* [BHB98].

**Filme:** Filme lassen sich ebenso wie Bilder auf dem Gerät darstellen. Dies können auch Live Aufnahmen sein, z.B. zur Kommunikation mit anderen Benutzern in einem Gruppenszenario.

**3D Szenen:** Wird ein leistungsfähiger Rechner zur Darstellung der Benutzungsoberfläche genutzt, können auch dreidimensionale Szenen dargestellt werden, z.B. um dem Lerner in einer Gruppenpräsentation einen individuellen Blick auf die VR Szene zu ermöglichen (vergl. Kapitel 6.1.2.4).

**Haptik:** Einfaches haptisches Feedback kann direkt über den Steuerrechner ausgegeben werden, hierzu bieten sich günstige Geräte, wie z.B. Forcefeedback Joysticks, an.

**Ausgabe an externe Geräte:** An den Steuerrechner können auch externer Geräte, wie z.B. zur Licht- oder Temperatursteuerung, angebunden werden. Diese Möglichkeit ist besonders für öffentliche Lernorte interessant, bei denen Virtuelle Lernwelten oft in ein größeres Ausstellungskonzept integriert sind.

**Ausgabe in Dateien:** Das Protokollieren der Benutzeraktionen zur Laufzeit kann für verschiedene Zwecke genutzt werden. So können sich beispielsweise die Aktionen des Benutzers im Nachhinein besser nachvollzogen und analysiert werden. Ebenso können diese Daten genutzt werden, um weitere Medien, z.B. CD-ROMs, Webseiten oder Kataloge, mit vertiefenden Informationen zu erstellen. Im NICE Projekt [JRL<sup>+</sup>98] wurde z.B. jeweils eine kurze Geschichte aus den durchgeführten Aktionen generiert, die sich die Kinder später ausdrucken konnten.

## 7.6 Realisierung der verschiedenen Interaktionsszenarien

Im Folgenden wird beschrieben wie sich die im Kapitel 6.1 definierten Interaktionsszenarien mit diesem Interaktionsgerät umsetzen lassen. Hierbei wird der Gruppeninteraktion besondere Beachtung geschenkt, da es für Virtuelle Lernwelten meist wichtig ist, dass mehrere Personen mit der Virtuellen Welt interagieren können. Je nach Einsatzzweck und -ort können dies Kleingruppen, z.B. ein Klassenverband von etwa 20-30 Schülern, oder Großgruppen, z.B. mehrere hundert Benutzer in einem Virtuellen Planetarium, sein.

### 7.6.1 Einzelbenutzer-Interaktion

Interagiert, wie im Kapitel 6.1.1 beschrieben, nur ein Benutzer mit dem System, kann das universelle Interaktionsgerät ebenso wie andere Interaktionsgeräte auch eingesetzt werden. Das Gerät kommuniziert über das Netzwerk mit dem VR System und steuert dieses. Die Vorteile gegenüber anderen Geräten sind die Integration verschiedener Interaktionsgeräte in eine Oberfläche, die Robustheit des Geräts, die intuitive Bedienung und die Möglichkeit weitere Ausgabekanäle zu nutzen.

Dieses eigentlich für nur eine Person vorgesehene Szenario lässt sich auch für kleine Gruppen nutzen, wobei sich die Teilnehmer entweder bei der Interaktion an einem Gerät abwechseln oder jeder sein eigenes Gerät besitzt, wovon aber jeweils nur eines aktiv ist (vgl. Abbildung 7.16). Werden mehrere Geräte eingesetzt, kann entweder die Lehrperson entscheiden welches Gerät aktiviert werden soll oder die Lerner können mittels Turntaking Mechanismen wie *Get&Give* oder *Give&Take* selbst entscheiden, wer an der Reihe ist.

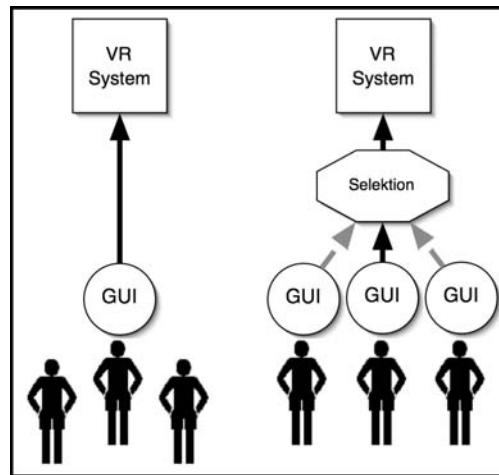


Abbildung 7.16: Mehrere Benutzer in einem Single-User Szenario

### 7.6.2 Gruppeninteraktion

Die Bedeutung von Gruppeninteraktion für Virtuelle Lernwelten wurde schon mehrfach betont. Wichtig ist diese Interaktionsform, da das Lernen an institutionellen und öffentlichen Lernorten zu einem großen Teil in Gruppen, dies sind z.B. feste Klassenverbände oder auch die Besucher einer öffentlichen Ausstellung, erfolgt.

Die bisherigen Formen von Gruppeninteraktion beschränken sich meist auf Verteilte Virtuelle Welten oder auf Interaktion durch Abstimmung, vor allem wenn mehr als 4-5 Personen beteiligt sind.

Die in Kapitel 6.2 beschriebenen Szenarien lassen sich durch das hier erarbeitete universelle Interaktionsgerät sehr gut abbilden. Durch die Flexibilität und Integrationsmöglichkeiten von weiteren Ein- und Ausgabekanälen ermöglicht es aber auch neue Interaktionsformen. Besonders die Reduktion der benötigten Geräte auf ein einziges und die Möglichkeit jedem Benutzer private Informationen zugänglich zu machen, lassen sich interessante Interaktionsmöglichkeiten für Großgruppen ermöglichen.

## 7.7 Zusammenfassung

Die Interaktivität steht bei Virtuellen Lernwelten immer wieder im Vordergrund. Um eine Auswahl geeigneter Interaktionsgeräte für eine Lernwelt zu ermöglichen, wurde eine Klassifizierung dieser Geräte vorgenommen und die Vor- und Nachteile der einzelnen Geräteklassen diskutiert.

Basierend auf dem Klassifikationsschema für Interaktionsgeräte und dem Basissystem für Lernwelten wurde in diesem Kapitel ein Konzept für ein universelles Interaktionsgerät für Virtuelle Lernwelten erarbeitet. Dieses Interaktionsgerät zeichnet sich durch seine Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Anforderungen und seine Robustheit aus. Durch den Einsatz virtueller Geräte konnte die Anzahl der benötigten Interaktionsgeräte auf eines reduziert werden, welches sich aber bei Bedarf mit externen Geräten erweitern lässt. Zusätzlich bietet dieses Gerät weitere Ausgabekanäle, welche genutzt werden können, um Medien darzustellen, die nur schwer in eine immersive Darstellung integriert werden kön-



nen. Durch diese Möglichkeiten lassen sich die Forderungen nach multimodaler Interaktion und multicodaler Repräsentation von Lernstoff erfüllen.

Durch die Nutzung eines intelligenten Interaktionsgeräts lassen sich einige der Elemente von Virtuellen Lernwelten direkt in dem Interaktionsgerät implementieren. Dies ist vor allem für die Realisierung des Lernweltverwalters interessant.



## 8 Anwendungsbeispiele

Im Rahmen verschiedener Projekte wurden Erfahrungen mit den in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Technologien gesammelt. Im Folgenden werden einige dieser Projekte und die Vor- und Nachteile der eingesetzten Technologien beschrieben.

### 8.1 Virtual Dunhuang Art Cave

Die Oasenstadt Dunhuang liegt im Nordosten Chinas und ist die letzte Oase der Seidenstrasse vor der Taklamakan Wüste. Berühmt ist Dunhuang für seine Höhlenanlage. Die etwa 500 Höhlen enthalten über 3.000 Statuen und mehr als 45.000  $m^2$  bemalter Wände und wurden zwischen dem vierten und dem vierzehnten Jahrhundert von buddhistischen Mönchen erstellt. Sie enthalten bedeutende Kunstwerke und vermitteln durch die bildliche Darstellung von Szenen aus dem religiösen und alltäglichen Leben wichtige Erkenntnisse für die Wissenschaft. Im Laufe der Zeit wurden diese Höhlen durch Sand, Feuchtigkeit und in letzter Zeit auch sehr stark durch die hohe Zahl an Touristen zerstört. Von diesen 500 Höhlen sind daher etwa nur 30 für die Öffentlichkeit zugänglich [LW99].

Ziel des hier beschriebenen Projekts war es Virtuelle Realität zu nutzen, um einige dieser geschlossenen Höhlen der Öffentlichkeit, und somit auch die darin enthaltenen Kunstwerke, wieder zugänglich zu machen. Dies wurde durch eine immersive Echtzeitdarstellung in einer CAVE ermöglicht.

#### 8.1.1 Präsentation der Virtuellen Welt

Die Virtuellen Höhlen von Dunhuang wurden im Rahmen mehrerer Veranstaltungen der Öffentlichkeit präsentiert. Entwickelt wurde diese Virtuelle Welt für die Präsentation in einer CAVE. Die Höhlen zeichnen sich durch hochwertige Gemälde auf allen Wänden und der Decke sowie kunstvoll verzierte Kacheln auf dem Boden aus. Eine CAVE ermöglichte es, diese Kunstwerke ausgiebig zu betrachten, wobei einem die natürliche Navigation innerhalb einer CAVE zugute kommt. Innerhalb der durch die Projektionsleinwände gesetzten Grenzen wird jede Bewegung des Benutzers in eine entsprechende Perspektivenänderung in der Virtuellen Welt umgesetzt. Durch die sehr immersive und räumliche Darstellung in einer CAVE können auch die Ausmaße und Proportionen der Höhlen den Besuchern sehr gut vermittelt werden. In dieser Form wurden die virtuellen Höhlen im Rahmen der Sonderveranstaltung „50 Jahre Fraunhofer Gesellschaft“ im Deutschen Museum in München gezeigt.

Die hohen Kosten und der große Aufwand für den Aufbau und die Kalibrierung einer CAVE verhindern oft diese Form der Präsentation. Im Rahmen weiterer Vorführungen, u.a. auf den cybernarium days 2002 in der Centralstation in Darmstadt, wurde die Präsentation daher auf einer Grossbildstereoleinwand präsentiert.

### 8.1.2 Interaktion mit der Virtuellen Welt

Innerhalb einer CAVE kann die Navigation teilweise sehr natürlich erfolgen. Eine Rotation der Virtuellen Kamera ist, vor allem in sechseitigen CAVEs, nur selten nötig, da man von der Virtuellen Welt umgeben ist. Die für die Berechnung der richtigen Perspektive notwendige Bestimmung der Benutzerposition erlaubt auch ein herumlaufen innerhalb der CAVE. Nur wenn sich der Benutzer weiter bewegen will als es die Leinwände erlauben, wird eine weitere Navigationsmöglichkeit benötigt. Dies wurde für diese Präsentation mittels einer Spacemouse realisiert. Da diese Präsentation normalerweise von einer geübten Person geleitet wurde, konnte diese Person sofort eingreifen, wenn ein Benutzer Probleme mit der Navigation hatte. Teilweise wurde die Navigation auch ganz von diesem Guide übernommen.

Für die Präsentation der Höhlenanlage von Dunhuang war als eine Interaktionsmöglichkeit die Steuerung einer virtuellen Taschenlampe vorgesehen. Die ersten Versuche zur Manipulation dieser virtuellen Lampe wurden mit einem Datenhandschuh durchgeführt. Neben dem Eingang der virtuellen Höhle lag das Modell einer Taschenlampe, welches mittels eines Datenhandschuhs gegriffen, aktiviert und bewegt werden konnte. Als problematisch hat sich hierbei erwiesen, dass der Datenhandschuh über kein haptisches Feedback verfügt, was das Aufnehmen der Taschenlampe sehr erschwerte. Hatte der Benutzer es geschafft die Taschenlampe aufzunehmen, war die virtuelle Lampe meist nicht richtig orientiert, so dass die Hand verdreht gehalten werden musste, um die Taschenlampe nach vorne auszurichten. Diese Probleme verhinderten den Einsatz der virtuellen Taschenlampe in diesem Szenario. Erst der Einsatz einer realen Taschenlampe als Eingabegerät löste das Problem. Hierzu wurde ein elektromagnetischer Tracker in eine Taschenlampe integriert. Dieser Tracker erlaubt es dem VR System die Position und Orientierung der realen Taschenlampe abzufragen und die Lichtquelle der virtuellen Taschenlampe entsprechend anzupassen. Ebenso kann der Zustand des Taschenlampenschalters vom System abgefragt werden und somit die virtuelle Lichtquelle an und ausgeschaltet werden. Das Verhalten der Benutzer änder-



Abbildung 8.1: Interaktion mit der Taschenlampe

te sich mit der Einführung dieser realen Taschenlampe als Eingabegerät drastisch. Jeder Benutzer, der die Taschenlampe in die Hand nahm, benutzte sie sofort intuitiv, ohne zu bemerken, dass er keine funktionierende Taschenlampe in der Hand hatte. Eine Taschen-

lampe ist ein Alltagsgegenstand, welcher von den meisten Leuten, oft schon seit frühester Jugend, regelmäßig benutzt wird. Durch die realistische Abbildung der Beleuchtung einer Taschenlampe in der virtuellen Welt und durch das authentische Eingabegerät wurde dieses von den Benutzern sofort akzeptiert und ohne weitere Überlegungen benutzt. Dieses Verhalten konnte sowohl während Präsentationen in der CAVE des Fraunhofer Instituts für Graphische Datenverarbeitung in Darmstadt als auch während einer einwöchigen Ausstellung im Deutschen Museum in München beobachtet werden.

Die Taschenlampe wurde weiterhin als Werkzeug zur Wissensabfrage genutzt. Sobald der Benutzer längere Zeit mit der Taschenlampe auf ein Objekt zeigt, geht das System davon aus, dass ihn dieses Objekt interessiert und gibt ihm über die Audioausgabe Informationen zu diesem Objekt.

### 8.1.3 Wissensvermittlung

Wichtige Informationsträger waren in diesem Projekt die virtuellen Modelle der Höhlen selbst. Durch ausmodellierte Details der Statuen und der Verzierungen an den Wänden konnte, zusammen mit hochauflösenden Texturen, ein sehr realistisches virtuelles Abbild der betrachteten Höhlen erstellt werden. Die immersive Präsentation in einer CAVE ermöglichte es den Besuchern ein sehr gutes Raumgefühl zu entwickeln und somit auch die Ausmaße der Höhlen wahrzunehmen. Unterstützt wurde diese visuelle Informationspräsentation durch gesprochene Texte, welche von den Besuchern mit Hilfe der Taschenlampe ausgewählt werden konnten. Wurden Informationen zu einem Objekt mehrfach aufgerufen, vermittelte das System den Besuchern immer detailliertere Informationen. Das in diesen Texten erklärte Objekt wurde innerhalb der Szene optisch hervorgehoben, um eine Zuordnung der Informationen zu dem ausgewählten Objekt nochmals zu erleichtern.

Beispielhaft wurde in diese Präsentation auch die Möglichkeit integriert, sich einige der im Laufe der Zeit zerstörten Kunstwerke und Kacheln im restaurierten Zustand zu betrachten. Die Besucher können so eine Vorstellung entwickeln wie diese Höhlen im Originalzustand ausgesehen haben. Aufgrund fehlender historischer Informationen konnte diese Darstellung aber nicht vertieft werden.

## 8.2 Der Virtuelle Dom von Siena

Der Dom von Siena, mit seinen reichen Verzierungen und vielen Gemälden und Mosaiken, stellt eine große Herausforderung an eine VR Präsentation. Ziel des Projekts „Der Virtuelle Dom von Siena“ war es, neue Technologien zur Präsentation solcher komplexen Kulturgüter zu entwickeln [BFK<sup>+</sup>01]. Da die Präsentation auf der EXPO 2000 in Hannover einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt werden sollte, mussten Interaktionsgeräte und Interaktionsmetaphern entwickelt werden, die eine solche Präsentation für Besucher ohne Erfahrung mit der Interaktion in Virtuellen Welten bedienbar machen und robust genug sind, um 6 Monate wartungsfrei im Einsatz zu sein.

### 8.2.1 Systemarchitektur

Die erste öffentliche Präsentation des Virtuellen Doms von Siena war auf der EXPO 2000 im Themenpark *Basic Needs*. Damals wurde eine Silicon Graphics Onyx2 Infinite Reality 3 zur Bildgenerierung eingesetzt [FLKB01]. Durch die gesteigerte Leistungsfähigkeit

heutiger Computersysteme war es möglich diese Graphikworkstation durch drei herkömmliche Rechner zu ersetzen, was die Kosten für das System drastisch reduziert hat.

Als Interaktionsgerät wurde ein Touchscreen eingesetzt, welcher über ein Netzwerk an das VR System angebunden war. Die Benutzungsoberfläche wurde mit dem Multimediaautor-ensystem Macromedia Director erstellt, was eine schnelle Entwicklung und eine einfache Veränderbarkeit ermöglichte. Innerhalb dieser Anwendung wurde auch eine einfache Version des in Kapitel 5 eingeführten *Lernweltverwalters* realisiert.

Die Kommunikation erfolgte in der ersten Version über eine Socketverbindung, hierfür musste ein spezielles Plugin für Director entwickelt werden. Durch den Wechsel des eingesetzten VR Systems ist es heute möglich die Kommunikation über das HTTP Protokoll abzuwickeln. Dadurch wird auf der Seite des Interaktionsgeräts keine spezielle Kommunikationssoftware benötigt, außerdem ist es dadurch möglich die Benutzungsoberfläche als Webseite vom VR System zu beziehen, d.h. jedes Gerät, das über eine Internetverbindung verfügt und Shockwave Dateien abspielen kann, kann als Interaktionsgerät genutzt werden. Das Interaktionsgerät beinhaltet die komplette Ablaufsteuerung und dient als Audioserver. Bei den bisherigen öffentlichen Präsentationen erfolgte die Darstellung der Präsentation

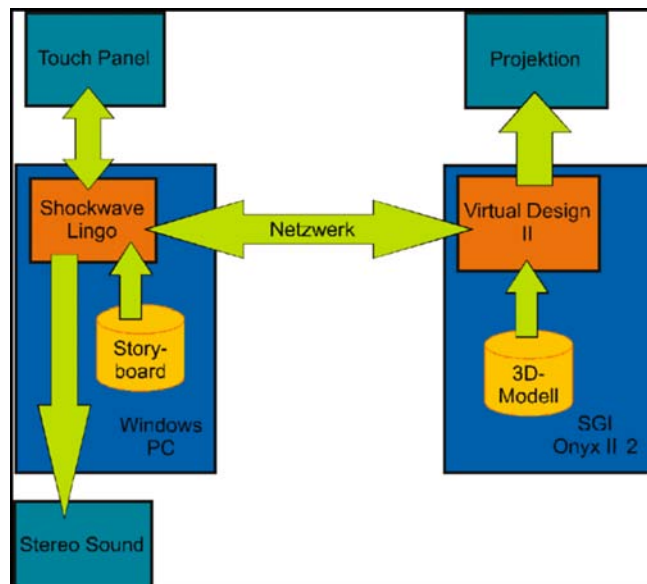


Abbildung 8.2: Systemdiagramm

auf einer Großbildstereoleinwand, aber auch eine Präsentation in einer CAVE ist möglich. Auf der EXPO 2000 wurde der Virtuelle Dom auf einer Leinwand von 2,5 x 4m Größe, d.h. im Hochformat präsentiert. Dieses ungewöhnliche Format bietet sich für die Darstellung des Doms an, da die Architektur der Kathedrale auch mehr in die Höhe geht.

Die vielen Details des Doms, vor allem die vielen Einzelheiten in den Bodenmosaiken, kommen auf der am Fraunhofer IGD entwickelten, hochauflösenden Großbildleinwand HEyeWall erst richtig zur Geltung.

### 8.2.2 Aufbau der Virtuellen Welt

Um ein solch komplexes und detailreiches Kulturgut wie den Dom von Siena als Virtuelle Welt in Echtzeit präsentieren zu können, muss besondere Sorgfalt auf die dreidimensionalen Modelle und die Texturen verwendet werden. Alle Modelle wurden von Hand erstellt, um genaue Kontrolle über die Ergebnisse zu haben, und um Änderungen leicht vornehmen zu können. Das Ziel der Arbeit war ein exaktes und detailreiches Abbild der Kathedrale zu erhalten, welches sich in Echtzeit präsentieren lässt. Während der Modellierung wurde das

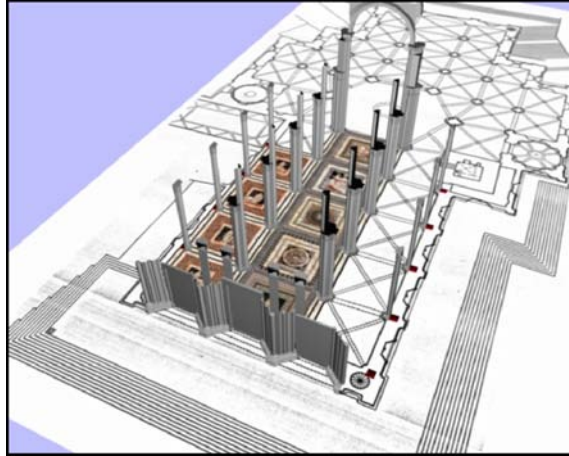


Abbildung 8.3: Modellierung des dreidimensionalen Modells des Doms von Siena

Modell ständig mit den vorliegenden Plänen verglichen (vgl. Abbildung 8.3), so konnte sichergestellt werden, dass das virtuelle Modell in seinen Abmessungen exakt dem realen Vorbild entspricht.

### 8.2.3 Immersive Storytelling

Der Besucher der EXPO sollte das Gefühl erhalten, als Besucher durch den Dom von Siena zu gehen. Er sollte nicht nur, wie in einem Reiseführer oder einem Lexikon, Informationen abfragen können, sondern sich frei in einer nichtlinearen Geschichte durch den Dom bewegen und dabei alle ihn interessierenden Fakten über den Dom erhalten [LF00].

Neben der Virtuellen Präsentation des Doms war es somit wichtig auch die Benutzungsoberfläche, den Präsentationsraum und die Geräte passend zum Dom zu gestalten. Der Raum wurde abgedunkelt, um eine leuchtstarke Projektion zu erhalten, an der dem Eingang gegenüberliegenden Wandseite wurde ein 4 x 4,5 m großes Bild der Bibliothek des Doms aufgehängt, welches von außen sichtbar war und den Besucher einlud sich den Dom anzusehen. Der Touchscreen war, gemeinsam mit dem Steuerrechner, in ein stabiles Pult integriert, um zu Verhindern, dass die Anlage beschädigt wird. Das Design des Pults wurde Elementen des Doms nachempfunden (vgl. Abbildung 8.4). Die Benutzungsoberfläche, die auf dem Touchscreen gezeigt wird, ist einem antiken Buch, wie sie auch in der „Libreria Piccolomini“ zu finden sind, nachempfunden (vgl. Abbildung 8.5). Um eine persönlichere Ansprache der Benutzer zu erreichen, wurde der virtuelle Reiseführer Luigi entwickelt. Luigi führt die Besucher von Bereich zu Bereich und erläutert ihnen dort alle wichtigen Informationen über diese Region. Alle Informationen werden als gesprochener Text vermit-



Abbildung 8.4: Ein Besucher der EXPO 2000 beim Betrachten des Virtuellen Doms von Siena

telt. Während die entsprechende Audiodatei abgespielt wird, bewegt der Avatar synchron dazu seine Lippen, so erscheint er realistischer und wirkt als persönlicher Ansprechpartner für die Besucher. Zusätzlich zur Sprachausgabe werden die Texte nochmals in schriftlicher Form auf dem Touchscreen präsentiert.

### 8.2.4 Interaktion mit der Virtuellen Welt

Die Interaktion mit der Virtuellen Welt erfolgt komplett über den in ein Pult integrierten Touchscreen oder, in einer zweiten Version, einen tragbaren PenPC. Die Lösung mit dem Touchscreen hat sich als sehr robust erwiesen. Während der sechs Monate dauernden Präsentation auf der EXPO 2000 sowie den anschließenden Präsentationen, z.B. auf den cybernarium days 2002, traten keine Probleme auf.

Wie oben erläutert, wurde das Design der Benutzungsoberfläche einem antiken Buch nachempfunden. Dabei wird die rechte Buchseite zur Informationsvermittlung genutzt. Alle Informationstexte über die Wissensbereiche Geschichte, Architektur und Kunst des Doms, die als Audiodatei ausgegeben werden, können hier nochmals nachgelesen werden. Die linke Buchseite zeigt alle Bedienelemente, die zur Steuerung benötigt werden. In der oberen Hälfte ermöglicht eine Karte des Doms die Bewegung zwischen verschiedenen Bereichen der Kathedrale. Beim Betreten der Bibliothek wird der Plan auf einen Grundriss der Bibliothek umgeschaltet, um weitere Positionen innerhalb der Bibliothek zugänglich zu machen. Mit den Pfeiltasten unter dem Plan kann sich der Benutzer frei innerhalb des Bereichs bewegen. Dabei wurde durch Kollisionserkennung verhindert, dass sich der Benutzer durch Wände oder sonstige Hindernisse bewegt oder den Bereich verlässt. Um ein Verirren des Benutzers zu verhindern, wurde keine freie Höhenänderung zugelassen, die Kamera ist auf Augenhöhe festgesetzt. Ebenso kann die Kamera auch nur um 2 Achsen gedreht werden, wobei teilweise die maximalen Bewegungswinkel eingeschränkt wurden. Daher reichen vier Knöpfe für die Bewegung aus. Die linken Knöpfe bewegen die Kamera nach vorne, hinten, rechts und links, während die rechten Knöpfe die Kamera um die beiden freien Achsen drehen. Über die Lesezeichen unter der linken Buchseite können Informationen über die drei Wissensbereiche abgerufen werden. Je nach Situation werden einige oder alle





Abbildung 8.5: Die Benutzungsoberfläche der Präsentation „Der Virtuelle Dom von Siena“

Knöpfe deaktiviert, so dass immer nur die Aktionen ausgeführt werden können, die in der momentanen Situation sinnvoll sind.

### 8.2.5 Wissensvermittlung

Ein großer Teil des Wissens wird bei dieser Präsentation vom dreidimensionalen Model des Doms selbst vermittelt. Die detailreiche und teilweise photorealistische Darstellung der Kathedrale ermöglicht es dem Besucher die Kunst und Architektur des Bauwerks sehr realistisch zu erleben. Durch den Einsatz hochaufgelöster Texturen können auch feine Details der Kunstwerke betrachtet werden, was vor allem für den Boden des Doms interessant ist, da der berühmte Fußboden des realen Doms größtenteils abgedeckt ist, um ihn vor Abnutzung durch die vielen Besucher zu schützen.

Genauere Informationen kann der Besucher vom virtuellen Reiseführer erhalten. Nach einem Klick auf eines der Lesezeichen erklärt Luigi die Besonderheiten des Teils des Doms, in dem man sich gerade befindet. Diese Informationen werden nochmals als Text auf dem Interaktionsgerät dargestellt, so dass die Besucher diese Informationen auch nochmals nachlesen können.

Die Verwaltung der Wissensinhalte erfolgt in einer einfachen Form des in Kapitel 5.2.1 vorgestellten Lernweltverwalters auf dem Steuerungsrechner des Interaktionsgeräts.

## 8.3 Archeoguide

Die antiken Anlagen von Olympia sind ein sehr bedeutendes Kulturgut, welches durch die regelmäßig stattfindenden Olympischen Spiel immer wieder in das Bewusstsein der Öffentlichkeit tritt. Täglich besuchen sehr viele Touristen die antike Wettkampfanlage. Da alle Tempel und Gebäude zum größten Teil im Laufe der Zeit zerstört wurden, sieht der Besucher vor Ort nur noch Ruinen. Um den Besuchern eine Vorstellung der damaligen

Anlagen und Wettkämpfe zu geben, wurde in diesem Projekt Erweiterte Realität eingesetzt, um virtuelle Modelle in die reale Landschaft zu integrieren [Ioa02].

### 8.3.1 Systemarchitektur

Das ARCHEOGUIDE System besteht aus einem lokalen Site-Information Server und einem mobilen System (vgl. Abbildung 8.6). Der Site-Information Server speichert Datenbanken mit allen relevanten Audio- und Videodaten, dreidimensionalen Modellen, vorberechneten Bildern und Benutzerprofilen jedes Besuchers. Diese Daten kann er bei Bedarf über ein drahtloses Netzwerk an die mobilen Systeme schicken. Die mobilen Clients ent-

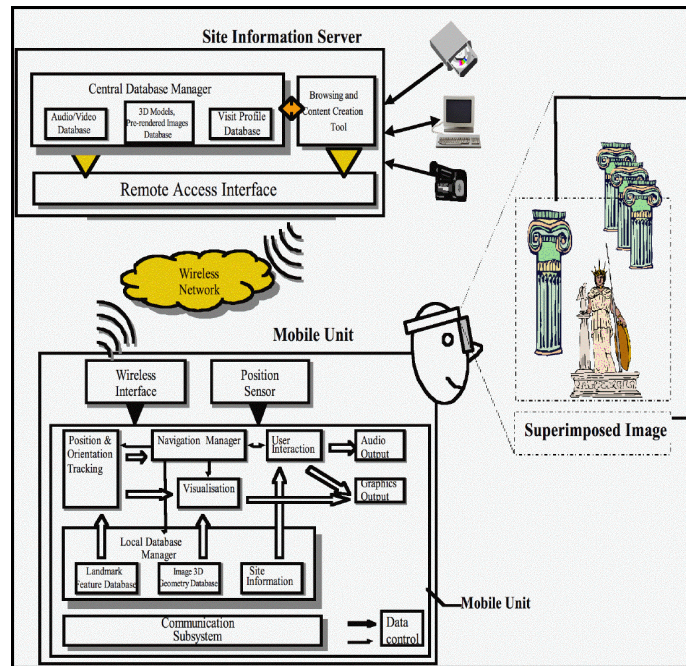


Abbildung 8.6: Systemarchitektur

halten das AR System, welches dem Benutzer alle relevanten Informationen liefert. Über eine Video-See-Through Brille können dem Benutzer die in das Live Videobild integrierten virtuellen Objekte präsentiert werden. Das System verfügt über einen GPS Empfänger, einen digitalen Kompass und eine Kamera um die aktuelle Position und Orientierung des Benutzers zu ermitteln.

### 8.3.2 Interaktion mit der Virtuellen Welt

Ein Großteil der Benutzerinteraktion mit der Virtuellen Welt besteht aus der Bewegung des Benutzers. Das System erfasst ständig die Position und Orientierung des Benutzer und kann so auf seine Bewegungen reagieren. Um sich einen virtuellen Tempel anzusehen, muss er nur seinen Kopf bewegen, ebenso wie er es bei einem realen Objekt auch machen würde.

Die Besucher können folgende Aktionen durchführen:

- Navigationsinformationen abfragen

- Weitere audiovisuelle Informationen abfragen (z.B. über Statuen und Gegenstände die auf dem Gelände gefunden wurden und sich jetzt im Museum befinden)
- Die Transparenz der virtuellen Objekte verändern
- Dreidimensionale Objekte manipulieren
- Veränderungen am Ablauf der Tour und den automatisch, in Abhängigkeit von seinem Benutzerprofil ausgewählten, präsentierten Informationen vornehmen

Für diese Interaktionsaufgaben werden ein Gamepad und drei Knöpfe an der Videobrille genutzt. Alle für die Interaktion benötigten Daten und virtuellen Geräte werden als graphische Objekte in der Brille dargestellt.

### 8.3.3 Wissensvermittlung

Auch in diesem Anwendungsbeispiel erfolgt die Wissensvermittlung größtenteils durch die Virtuellen Objekte. Dadurch dass die virtuellen Objekte lagerichtig in die reale Umgebung



Abbildung 8.7: Der virtuelle Zeustempel, eingeblendet in die reale Umgebung

eingeblendet werden können und der Besucher stufenlos zwischen der virtuell rekonstruierten Anlage und den Ruinen überblenden kann, wird ein Verständnis über das antike Olympia aufgebaut, das durch keine physikalischen Modelle oder Bilder erreicht werden kann. Ergänzend zu den statischen Gebäuden können im Stadion auch Wettkämpfe betrachtet werden (vgl. Abbildung 8.8). Diese animierten Abläufe der verschiedenen Sportarten zeigen den Besuchern wie zur damaligen Zeit solche Wettkämpfe durchgeführt wurden. So lassen sich Vergleiche mit den heutigen Bewegungsabläufen und Sportgeräten ziehen, und die Veränderung der Sportarten über die Zeit erleben.

Weitere Informationen werden als Audio-, Bild- oder Filmdateien und kurze Textannotationen in die Präsentation integriert. Da das System zu jeder Zeit weiss, welche Objekte sich im Blickfeld des Benutzers befinden, können solche Informationen passend zum aktuellen Kontext präsentiert werden.

Zusätzlich zu den Informationen über das antike Olympia kann der Benutzer auch Informationen zur Navigation auf dem Gelände abfragen. Er kann seine aktuelle Position auf einer Karte sehen und erhält Informationen über den weiteren Verlauf seines Rundgangs. Um die vermittelten Informationen optimal an den Benutzer anzupassen, werden vor dem Beginn des Rundgangs persönliche Daten aufgenommen und daraus ein Benutzerprofil erstellt.

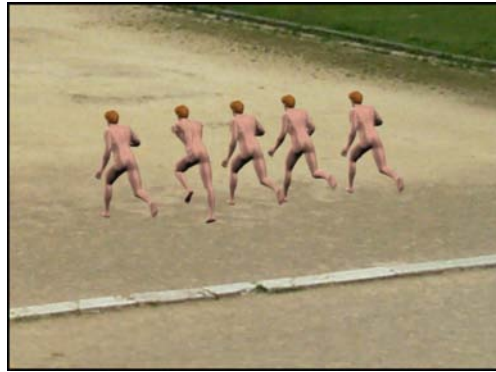


Abbildung 8.8: Virtueller Laufwettbewerb im realen Station

Aus Informationen wie Alter, Geschlecht, Nationalität, Computererfahrung, Bildung, archäologischen Kenntnissen, usw., ermittelt das System, welche Informationen in welcher Sprache und Tiefe dem Benutzer präsentiert werden. So kann eine geeignete Ansprache der unterschiedlichen Nutzer erreicht werden.

### 8.4 Die Mondsucher

Die Virtuelle Lernwelt „Die Mondsucher“ zeigt den Einsatz von Virtueller Realität zur Interaktion in Kleingruppen mit fester Aufgabenverteilung. In dieser Lernwelt sollen von 3 Lernern, auf spielerische Art und Weise, Informationen über die Monde in unserem Sonnensystem gesammelt werden. Dabei steht, neben dem Lerninhalt, die Gruppenerfahrung im Vordergrund.

#### 8.4.1 Die Grundlagen

Die Grundlage dieser Virtuellen Lernwelt bildet eine Simulation der Planetenbewegungen unseres Sonnensystems, welche für die Präsentation „Der Virtuelle Weltraum“ entwickelt wurde.

Ein wichtiges Ziel der Entwicklung war es, dass sich Interaktionsmöglichkeiten schnell und intuitiv erschließen lassen. Die VR Welt muss im Mittelpunkt des Interesses stehen und die Benutzer sollen nicht zu sehr durch die Interaktionen abgelenkt werden, damit die Immersion nicht leidet.

Damit die Interaktion mit der Lernwelt zu einer positiven Gruppenerfahrung wird, gibt es ein gemeinsames Ziel, das nur unter Mithilfe und Kooperation aller Teilnehmer erreicht werden kann. Um das Gefühl der Gruppenerfahrung zu stärken, erfordert das Szenario einen regen Kommunikationsfluss unter den Teilnehmern bei der Bearbeitung der Aufgaben. Damit die Interaktion für alle Teilnehmer ein befriedigendes Erlebnis wird, wird jeder Lerner bei den Interaktionen gleichberechtigt berücksichtigt, damit sich niemand benachteiligt fühlt.

Eine klare Aufgabenstellung macht es den Benutzern einfach, sich in der Simulation zurechtzufinden, da sie ein konkretes Ziel vor Augen haben. Zur Motivationsförderung gibt es eine Belohnung in Form von Punkten nach jeder erfolgreich gemeisterten Aufgabe. Diese Punktevergabe, die am Ende des Spiels in einer Highscoreliste gespeichert wird, sorgt zum

Einen für eine erhöhte Motivation die Aufgabe mehrmals zu lösen und zum Anderen motiviert sie auch andere Gruppen die Aufgabe lösen zu wollen, um sich mit den vorherigen Gruppen zu vergleichen.

#### 8.4.2 Die Aufgabenstellung

Die wichtigste Entscheidung bei der Konzeptfindung war, welche Aufgabe die Lerner gestellt bekommen. Aus der Aufgabenstellung ergeben sich alle anderen Aspekte, die eine Rolle spielen.

Als Ziel der Interaktion wurde definiert, dass die Lerner in der Simulation des Sonnensystems gemeinsam die Monde der Planeten suchen und identifizieren sollen.

Um nach den Monden eines Planeten suchen zu können, muss der entsprechende Planet angesteuert werden. Nur unter Einbeziehung aller vorhandenen Steuermöglichkeiten (Zoom, Rotation, Zeit-Steuerung) wird es der Gruppe gelingen, die gesuchten Monde auch zu finden. Diese drei Steuerinteraktionen werden auf die drei Gruppenmitglieder verteilt, so dass sie nur unter Mithilfe aller zu einem Ergebnis kommen können. Durch diese Auftrennung der Interaktionsaufgaben ist es notwendig, dass die Gruppenmitglieder zur Koordination kommunizieren. Da die Steuerung die Kommunikation bewusst fordert und diese Kommunikation noch durch die räumliche Nähe der Gruppenmitglieder gefördert wird entwickelt sich während der Interaktion mit der Lernwelt eine intensive Verständigung zwischen den Lernern.

Wenn die Gruppe einen um den untersuchten Planeten kreisenden Mond gefunden hat, muss sie ihn mit Bildern auf einem der Eingabegeräte vergleichen und ihn dann per Drag & Drop dem richtigen Planeten zuordnen. Damit wurde eine Teilaufgabe richtig gelöst. Als Belohnung wird ein Informationstext zu dem Mond abgespielt und die Lerner können den Mond genauer betrachten. Wenn alle Monde eines Planeten richtig zugeordnet wurden, vermittelt ein Text vertiefende Informationen über den Planeten. Am Ende der Anwendung hat die Gruppe auf diese Art und Weise das gesamte VR Sonnensystem kennengelernt und alles Wissenswerte über die Planeten und Monde erfahren. Zur zusätzlichen Motivationsförderung gibt es eine Highscoreliste, in die sich alle Gruppen eintragen können. Für jeden richtig zugeordneten Mond gibt es Pluspunkte, bei falschen Zuordnungen werden Punkte abgezogen. Am Ende der Anwendung ermöglicht es ein kurzes Quiz, in dem einige Fragen zu dem Sonnensystem beantwortet werden müssen, eine Lernkontrolle. Auch in diesem Quiz kann die Gruppe zusätzliche Punkte erhalten.

#### 8.4.3 Die Interaktionsmöglichkeiten

Die Virtuelle Lernwelt bietet das automatische Ansteuern eines Planeten, die Rotation um den Planeten und das Annähern und Entfernen als Navigationsmöglichkeiten. Weitere Interaktionsmöglichkeiten sind eine Steuerung der Simulationszeit, das Zuordnen und Identifizieren der Monde und das Einblenden der Umlaufbahnen als Hilfestellung.

Als Interaktionsgeräte werden drei Touchscreens mit virtuellen Geräten zur Steuerung und der Möglichkeit zur Informationseinblendung genutzt.

Die Interaktionsformen wurden so gerecht wie möglich auf die drei Gruppenmitglieder verteilt. Dabei hat jeder Lerner mindestens eine Interaktionsmöglichkeit erhalten, mit der er direkt die VR Simulation beeinflussen kann. Zur besseren Abgrenzung wurden den drei Gruppenmitgliedern verschiedene charakterisierende Namen gegeben: Commander, Navi-

gator, Pilot. Die einzelnen Aufgaben der Charaktere werden im Folgenden näher beschrieben.

### 8.4.3.1 Der Commander

Der Commander ist für das Lösen der Aufgaben verantwortlich. Er steuert die einzelnen Planeten an und muss diesen die gefundenen Monde richtig zuordnen. Dazu muss er auf seiner Benutzungsoberfläche eine nummerierte Kugel, welche jeweils einen Mond repräsentiert, auf die richtige Umlaufbahn um den gerade betrachteten Planeten ziehen.

Er kann zusätzlich noch die Geschwindigkeit der Simulation beeinflussen, um somit das Auffinden der Monde zu vereinfachen. Zusätzlich hat der Commander die Kontrolle über die grundsätzlichen Navigationselemente. Seine Interaktionsmöglichkeiten sind:

- Ansteuern von Planeten
- Zeit-Steuerung
- Zuordnen der Monde
- Starten/Beenden der Anwendung

Der Commander hat als einziger ein wechselndes Userinterface, da seine Interaktionselemente nicht alle auf einen Screen gepasst hätten. Aus der Kommandozentrale heraus (vgl. Abbildung 8.9) kann er, durch die Selektion eines Planeten auf dem Benutzungsinterface, diesen Planeten ansteuern. Dabei wechselt er automatisch in den eigentlichen Spielbereich. Außerdem hat er hier die Möglichkeit, die Anwendung vorzeitig zu beenden oder die Einführung in die Lernwelt nachzuholen, wenn die Gruppe diese am Anfang übersprungen haben sollte.

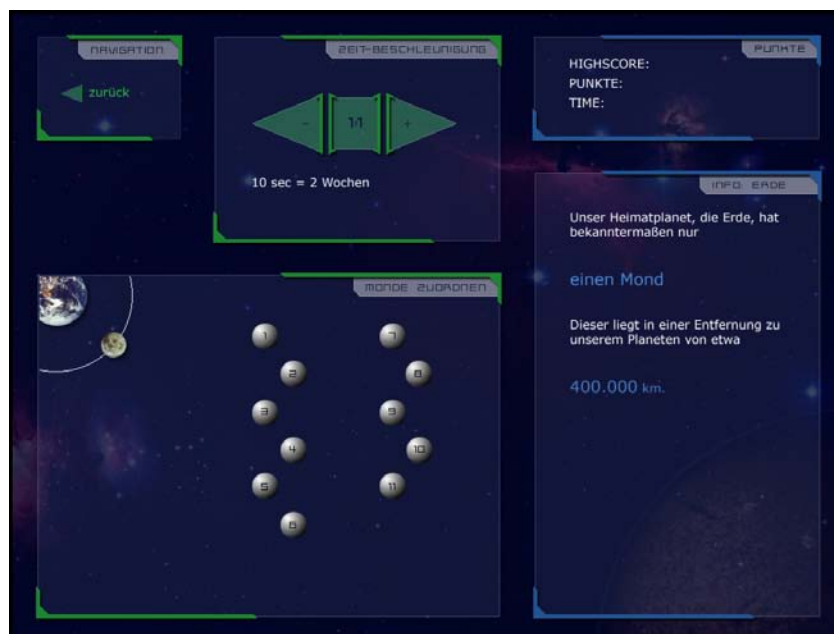


Abbildung 8.9: Das Userinterface des Commanders in der normalen Ansicht



### 8.4.3.2 Der Navigator

Der Navigator ist für das Ansteuern der Umlaufbahnen verantwortlich. Einerseits steuert er die Entfernung zu den Planeten, also die Umlaufbahn, in der sich die Gruppe befindet. Andererseits kann er die Umlaufbahnen aller Monde des Planeten einblenden, wenn es der Gruppe schwerfällt, diese ohne Hilfestellung zu finden. Wird diese Hilfestellung genutzt, dann verringert sich die Anzahl der Punkte, die die Gruppe für die Lösung der Aufgabe erhält.

Er hat folgende Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung (vgl. Abbildung 8.10):

- Zoom
- Einblenden der Umlaufbahnen

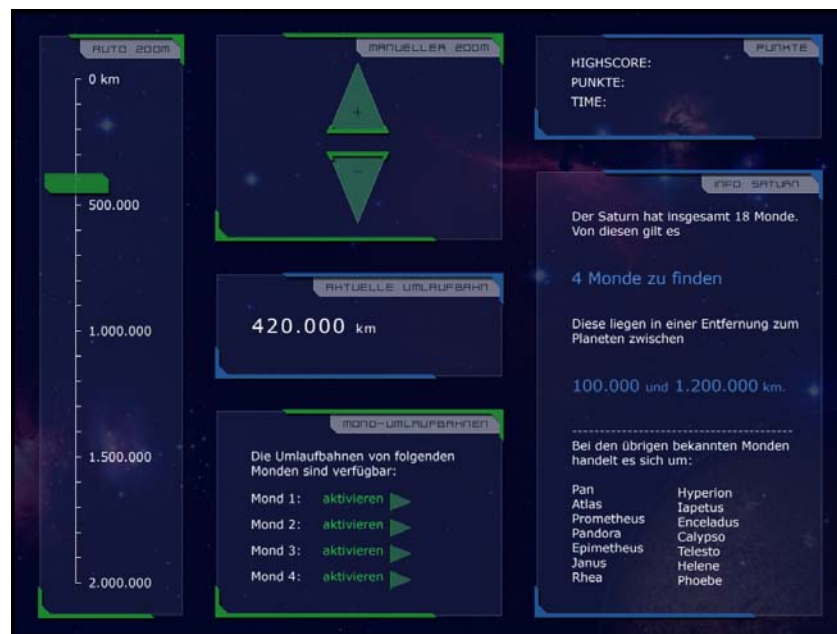


Abbildung 8.10: Das Userinterface des Navigators

Der Navigator kann den Zoom, dieser entspricht hier dem Abstand zum Planeten, auf zwei verschiedene Weisen steuern. Entweder kann er die Entfernung zu dem Planeten an der Skala im „Auto-Zoom“ einstellen, oder er kann manuell mit den Pfeiltasten näher heran- oder weiter wegfliegen. Die aktuelle Umlaufbahn, in der sich die Gruppe befindet, wird ihm in dem Feld in der Mitte des Screens angezeigt. In dem Fenster „Mond-Umlaufbahnen“ kann er die Umlaufbahnen der Monde einblenden. Diese Hilfestellung wird ihm allerdings erst nach einer Minute erfolglosen Suchens eingeblendet. Die aktuelle Entfernung zum Planeten, welche der Navigator auf seiner Benutzungsoberfläche einsehen kann, hilft dem Commander bei der Zuordnung der erkannten Monde zur richtigen Umlaufbahn um den Planeten.

### 8.4.3.3 Der Pilot

Dieser Lerner übernimmt die Steuerung der virtuellen Kamera um die Planeten. Je nach Entfernung zu den Planeten kann er eine passende Rotationsgeschwindigkeit wählen. Neben dieser Aufgabe ist er dafür zuständig die gefundenen Monde zu identifizieren. Er hat die Interaktionsmöglichkeiten (vgl. Abbildung 8.11):

- Rotation
- Identifizieren der Monde

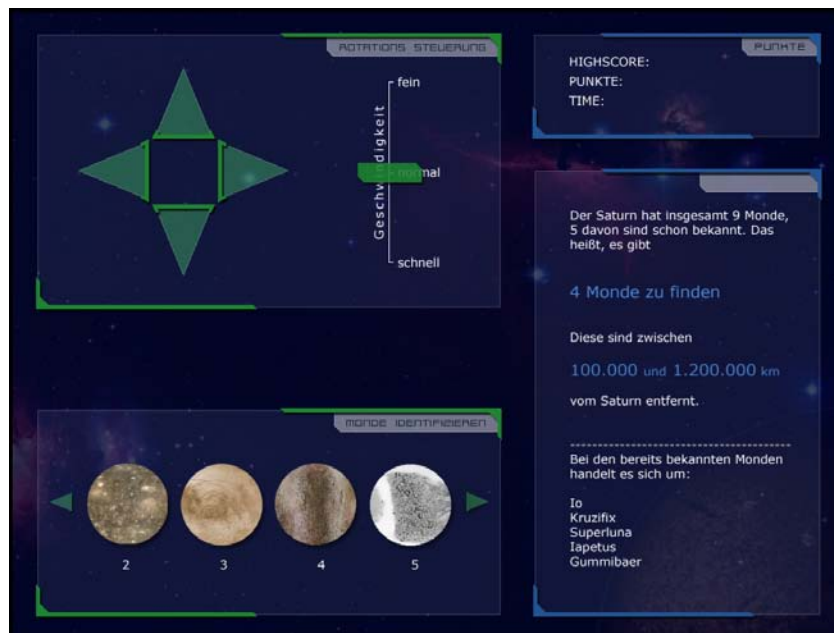


Abbildung 8.11: Das Userinterface des Piloten

Der Pilot kann mit der Rotationssteuerung um die Planeten herum kreisen und somit die Monde verfolgen. Die Geschwindigkeit der Rotation kann er an der Skala neben den Pfeiltasten einstellen. Wenn ein Mond gefunden wurde, muss er den Mond anhand der Bildausschnitte in dem Fenster „Monde identifizieren“ erkennen. Da die meisten Monde sehr markante charakteristische Merkmale haben, ist dies in vielen Fällen recht einfach. Lässt sich der Mond nicht direkt identifizieren, muss die Gruppe näher an den Mond heran navigieren, um Unterscheidungsmerkmale zu finden. Die Zahl des richtigen Mondes muss er dem Commander mitteilen, damit dieser den Mond zuordnen kann.

## 8.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden einige Virtuelle Lernwelten beschrieben, die mit Hilfe der in dieser Arbeit entwickelten Konzepte erstellt wurden.

Einige dieser Lernwelten wurden im Rahmen von öffentlichen Ausstellungen einem breiten Publikum vorgeführt. Die Virtuelle Lernwelt „Der Virtuelle Dom von Siena“ wurde



auf der EXPO 2000 in Hannover und auf den cybernarium days in Darmstadt und München der Öffentlichkeit präsentiert. Beobachtungen der Benutzeraktionen während solcher Präsentationen wurden in die Virtuellen Lernwelten eingearbeitet.



## 9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Ziel dieser Arbeit war es, Konzepte zum Einsatz von Virtueller und Erweiterter Realität zur interaktiven Wissensvermittlung zu entwickeln. Dazu wurden zu Anfang die Anforderungen, die an eine Virtuelle Lernwelt gestellt werden, analysiert. Betrachtet wurden hierbei sowohl technologische, als auch didaktische Anforderungen. Im Rahmen der technologischen Anforderungen wurden vor allem die Definitionen von Virtueller und Erweiterter Realität betrachtet. Die drei Eckpfeiler Virtueller Welten, Immersion, Echtzeit und Interaktivität, müssen gewährleistet sein, um Virtuelle Lernwelten realisieren zu können. Dabei ist auch auf die Gesundheit der Lerner zu achten, d.h. soweit es technisch möglich ist müssen Bedingungen, die *Simulatorsickness* auslösen können verhindert werden. Für die Betrachtung der didaktischen Anforderungen standen die neun W-Fragen der Didaktik, die unterschiedlichen Sichtweisen auf Lernprozesse und die Sozialformen des Unterrichts im Vordergrund. Aus diesen Betrachtungen ließen sich Flexibilität, Interaktivität und Veränderbarkeit der Virtuellen Welt als die wichtigsten Anforderungen herausarbeiten. Die vier Sozialformen des Unterrichts sollten sich auch in Virtuellen Lernwelten umsetzen lassen, was Anforderungen an die zu realisierenden Interaktionsszenarien stellt.

Wissensvermittlung erfordert meist den Einsatz unterschiedlicher Methoden und Medien, abhängig von den technologischen Möglichkeiten und dem zugrundeliegenden didaktischen und pädagogischen Modellen. Es wurde daher zuerst untersucht, welche verschiedenen Typen von Lernwelten es gibt und welche Möglichkeiten Virtuelle Welten zur Wissensvermittlung bieten. Zusätzlich wurde beispielhaft aufgezeigt, wie sich didaktische Methoden in Virtuellen Lernwelten umsetzen lassen.

Anschließend wurden die typischen Elemente Virtueller Wissenswelten untersucht. Neben den Elementen Virtueller Welten, wie z.B. dreidimensionale Modelle und Texturen, werden für Lernwelten weitere Elemente benötigt, zu nennen sind hier u.a. Hilfefunktionen und Tests. Da sich bei Lernern verschiedene Lerntypen unterscheiden lassen, rücken multimediale Repräsentationen in den Vordergrund, daher wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Medien in Virtuelle Welten integrieren lassen. Abgeschlossen wurden diese Untersuchungen mit einer Betrachtung der Ein- und Ausgabekanäle.

Nach diesen grundlegenden Untersuchungen wurde ein Rahmensystem für Virtuelle Lernwelten entworfen. Dieses Rahmensystem besteht sowohl aus Authoring- und Aufbaukomponenten als auch aus Präsentationskomponenten.

Um einen sinnvollen Einsatz von Virtuellen Lernwelten zu ermöglichen, ist es wichtig, dass der Lehrende Anpassungen an diesen Lernwelten vornehmen kann. Dazu wurde ein Framework für ein komponentenbasiertes Autorensystem entwickelt, welches sich unabhängig vom eingesetzten VR System nutzen lässt, um Virtuelle Welten zu erstellen und um weitreichende Änderungen an diesen Welten vorzunehmen. Um den Lehrenden die Möglichkeit zu geben, auch ohne Programmierkenntnisse das Verhalten von algorithmisch gesteuerten Objekten zu verändern, wurde ein Verfahren entwickelt, welches es ermöglicht das Objektverhalten durch die Vorgabe von Verhaltenszielen zu beeinflussen. Erreicht wurde dies durch den Einsatz von Genetischen Algorithmen. Die Qualität von mehreren Ver-

haltensbeschreibungen wird hierbei anhand einer *Fitnessfunktion* bewertet und optimiert. Diese, vom Anwender anpassbare, Funktion beschreibt, wie gut das Individuum gewisse Ziele erreicht hat. Durch Veränderung dieser Fitnessfunktion, z.B. durch eine veränderte Gewichtung der einzelnen Ziele, kann der Algorithmus neue, an diese Ziele angepasste Verhaltenssteuerungen erzeugen.

Das wichtigste Element Virtueller Lernwelten sind die dreidimensionalen Modelle. Für Virtuelle Realität müssen alle Objekte einer Szene in einer dreidimensionalen Beschreibung im Rechner vorliegen, für Erweiterte Realität werden nur die die Realität ergänzenden Objekte benötigt. Für das Erstellen dieser Modelle, der dazugehörigen Texturen und des Objektverhaltens wurden Vorgehensweisen erarbeitet. Virtuelle Lernwelten stellen hohe Ansprüche an solche Modelle. Sie müssen den Inhalten angepasst sein, dies kann bedeuten, dass eine exakte virtuelle Kopie eines realen Objekts oder aber auch eine didaktisch abstrahierte Darstellung gefordert ist. Es wurden Vorgehensweisen beschrieben, wie die Erstellung solcher Objekte erfolgen kann, damit sie in der geforderten Darstellungsform in Echtzeit präsentiert werden können.

Normalerweise werden Objekte, welche für eine hardwareunterstützte Echtzeitdarstellung genutzt werden als Polygonmodelle beschrieben. Diese Beschreibungsform erschwert aber eine spätere Anpassung an veränderte Bedingungen. Am Beispiel von Subdivision Surfaces wurde beschrieben wie Higher-Order-Primitives die Flexibilität der Virtuellen Lernwelt erhöhen und eine automatische Anpassung, z.B. an unterschiedliche Rechenleistungen der eingesetzten Rechner, ermöglichen. Ein im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes Testsystem ermöglicht es die Vor- und Nachteile von verschiedenen Subdivision Surface Algorithmen zu untersuchen.

Die Präsentationskomponenten des Basissystems bestehen aus einem Lernweltverwalter und einem Datenhaltungssystem für Lerner- und Lernobjektdaten. Die wichtigste Komponente ist hierbei der Lernweltverwalter, da er als Schnittstelle zwischen Lerner/Lehrenden und VR System fungiert und somit große Teile der Steuerung der Lernwelt übernimmt. Dieser modular aufgebaute Lernweltverwalter ermöglicht die Integration der für die Realisierung einer bestimmten Virtuellen Lernwelt benötigten Elemente. Seine Funktionsweise wurde an einigen Anwendungsfällen aufgezeigt.

Interaktion hat sich im Laufe der Untersuchungen immer wieder als wichtiges Merkmal Virtueller Lernwelten herausgestellt. VR Systeme unterstützen eine Vielzahl unterschiedlicher Interaktionsgeräte, darunter speziell für VR entwickelte, aber auch aus Desktop Anwendungen bekannte, Geräte. Um die Auswahl des geeigneten Interaktionsgeräts zu erleichtern, wurde ein Klassifikationsschema für Interaktionsgeräte entwickelt und die Möglichkeiten, Vorteile und Nachteile dieser Geräteklassen diskutiert.

Nicht nur die Vielzahl an möglichen Interaktionsgeräten zeichnet Virtuelle Lernwelten aus, es lassen sich mit dieser Technologie auch viele verschiedene Interaktionsszenarien erstellen. Es wurden für die Wissensvermittlung wichtige Interaktionsszenarien herausgearbeitet und eine Zuordnung dieser Szenarien auf die Sozialformen des Unterrichts beschrieben.

Da Lernen immer auch eine soziale Komponente hat, sind Szenarien zur Gruppeninteraktion für Virtuelle Lernwelten von großer Bedeutung. Daher wurde diese Interaktionsform hier besonders betrachtet. Über eine Definition des Gruppenbegriffs und der Gruppenparameter wurde ein Konzept zur Aufgabenverteilung für Klein- und Großgruppen entwickelt. Dieses Konzept ermöglicht es komplexe Interaktionsaufgaben in abhängige und unabhängige Teilaufgaben zu zerlegen, welche von den Benutzer gelöst werden müssen. Die Zuordnung der Teilaufgaben zu den Benutzern kann sowohl fest vorgegeben sein, als auch

zur Laufzeit der Anwendung erfolgen.

Für die Interaktion in Virtuellen Lernwelten ist eine geeignete Auswahl an Interaktionsgeräten wichtig. Spezielle VR Geräte sind oft zu kompliziert, zu fehleranfällig und zu teuer, um sie zur Wissensvermittlung zu nutzen. Geräte für Desktop Anwendungen, wie z.B. Maus und Tastatur sind zwar günstig und ihre Bedienung ist vielen Personen schon bekannt, sie eignen sich oft aber nur schlecht zur Interaktion in dreidimensionalen Virtuellen Welten. Um für jede Lernwelt geeignete Geräte bereitstellen zu können, müssten viele verschiedene Geräte angeschafft werden, was an vielen Lernorten nicht möglich ist. Um diese Probleme zu lösen, wurde ein universelles Interaktionsgerät für Virtuelle Lernwelten entwickelt. Durch den Einsatz virtueller Geräte zur Interaktion mit der Lernwelt konnte die Anzahl der benötigten Geräte auf ein Gerät reduziert werden. Zur Darstellung der virtuellen Geräte können PDAs, Laptops, Touchscreens oder ähnliche Geräte eingesetzt werden, wobei sich ein berührungssensitiver Bildschirm als vorteilhaft erwiesen hat. Da viele Lernorte solche Geräte schon für andere Zwecke besitzen, reduzieren sich die Anschaffungskosten. Durch das universelle Interaktionsgerät konnten noch weitere Probleme Virtueller Lernwelten gelöst werden. Da zur Darstellung der virtuellen Geräte ein Bildschirm benötigt wird, bietet sich das Gerät auch als weiterer Ausgabekanal an und kann so Medien präsentieren, die sich sonst nur schwer in Virtuellen Welten darstellen lassen. Genauso lassen sich die Schnittstellen des Steuerrechners nutzen, um weitere Ein- und Ausgabekanäle anzubinden. Dieses universelle Eingabegerät kann für alle vorgestellten Interaktionsszenarien genutzt werden. Die besondere Stärke des Geräts sind Mehrbenutzerszenarien, vor allem für Großgruppen. Gruppeninteraktion wurde bisher nur selten für Virtuelle Welten eingesetzt, ist aber für viele Lernformen sehr wichtig. Besonders bei großen Gruppen lässt sich die Interaktion mit den herkömmlichen Methoden nur schwer realisieren, außer man nutzt Abstimmungsmechanismen. Das universelle Interaktionsgerät ermöglicht es neue Interaktionsmöglichkeiten in Virtuelle Präsentationen zu integrieren. Es wird durch den Einsatz virtueller Geräte nur noch ein Interaktionsgerät pro Benutzer benötigt. Dieses lässt sich flexibel an verschiedene Aufgaben anpassen. Interessant für die Gruppeninteraktion ist dabei, dass sich das Gerät auch als Ausgabegerät nutzen lässt. Somit können jedem Benutzer private Informationen und Aufgaben präsentiert werden.

Zum Abschluss wurde an einigen realisierten Lernwelten der Einsatz der beschriebenen Konzepte aufgezeigt. Alle Präsentationen wurden schon, oder werden in nächster Zeit, in öffentlichen Ausstellungen präsentiert und von den Besuchern dieser Ausstellung intensiv genutzt. Die Erfahrungen aus diesen öffentlichen Präsentationen sind in die Erstellung der hier vorgestellten Konzepte eingeflossen.

Diese Arbeit schließt im nächsten Kapitel mit einem Ausblick auf mögliche weitere Arbeiten in diesem Themengebiet.



## 10 Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat das komplexe Gebiet der interaktiven Wissensvermittlung in der Breite betrachtet und daraus grundlegende Konzepte entwickelt. Diese Betrachtungsweise konnte nicht auf Details verschiedener didaktischer Methoden, Unterrichtskonzepte, Stoffgebiete oder Benutzergruppen eingehen. Es bietet sich nun an einzelne Bereiche in größerer Tiefe zu betrachten und die hier entwickelten Konzepte an neue Anforderungen anzupassen. Vor allem für unterschiedliche Wissensgebiete, wie z.B. Naturwissenschaften, Geschichte, Sprachen, o.ä., werden sich weitere Anforderungen an die Virtuellen Lernwelten und neue Möglichkeiten zur Wissensvermittlung definieren lassen. Die hier vorgestellten Konzepte lassen sich auch auf weitere Bereiche, z.B. aus der Unterhaltungsindustrie, übertragen, wobei die geänderten Anforderungen zu beachten sind.

Um ein besseres Verständnis der Wissensvermittlung mittels Virtueller und Erweiterter Realität zu erhalten und um geeignete Methoden zum Einsatz dieser Technologien entwickeln zu können sind umfassende lernpsychologische Untersuchungen notwendig. Hierbei ist sowohl ein Vergleich von Virtuellen Lernwelten zu herkömmlichen Lehrmethoden und anderen Neuen Medien, als auch ein Vergleich der verschiedenen Methoden, die Virtuelle und Erweiterte Realität bieten, nötig. Hierbei sollte auch untersucht werden, für welche Gebiete sich Virtuelle Lernwelten am Besten eignen und welche Fähigkeiten sich mit solchen Welten am Besten vermitteln lassen.

Ein weiteres Forschungsgebiet ist die Interaktion in Virtuellen Welten. Die zu erwartende weite Verbreitung leistungsfähiger Graphikrechner in den nächsten Jahren wird einen erhöhten Einsatz von Virtuellen Welten in vielen Bereichen zur Folge haben. Die Frage, wie Benutzer alleine oder in Klein- und Großgruppen in und mit diesen Welten interagieren können, wird daher immer stärker in den Vordergrund rücken. Das hier vorgestellte universelle Interaktionsgerät sollte für die Gruppeninteraktion dahingehend erweitert werden, dass es einen sehr flexiblen Einsatz ermöglicht und neue Technologien unterstützt. Die steigende Graphikfähigkeit und Rechenleistung mobiler Geräte, sowie die zunehmende Integration digitaler Film- und Photokameras in verschiedene Geräte ermöglicht eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für die Interaktion. Auch die Forschungen in dem Bereich Ambient Intelligence lassen völlig neuartige Interaktionsmöglichkeiten erwarten. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Gruppeninteraktion zu legen. Vor allem an öffentlichen Lern- und Unterhaltungsorten wird die Interaktion mehrerer Besucher mit Virtuellen Welten eine immer größere Rolle spielen. Um den Aufbau von Gruppenszenarien zu vereinfachen bietet es sich an zu den vorgestellten Konzepten zur Gruppensteuerung mittels Aufgaben- und Ressourcenverteilung geeignete Autorenwerkzeuge zu entwickeln.

Für das vorgestellte universelle Interaktionsgerät müssen Usability Tests durchgeführt werden, um zu sehen für welche Interaktionsaufgaben sich das Gerät am Besten eignet und in welchen Fällen man weitere Eingabegeräte in das System integrieren sollte.





# Abkürzungsverzeichnis

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
3DS	Dateiformat von 3D Studio Max
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
BIT	Basic Interaction Task
CAD	Computer Aided Design
CAVE	Cave Automated Virtual Environment
CIT	Composite Interaction Task
DXF	Dateiformat von AutoCAD
GA	Genetischer Algorithmus
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HMD	Head Mounted Display
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HYPE	Hypernurbs Editor
IGD	Institut für Graphische Datenverarbeitung
IRC	Internet Relay Chat
LOD	Level of Detail
PDA	Personal Digital Assistant
RSS	Really Simple Syndication
VR	Virtual Reality, Virtuelle Realität
VRML	Virtual Reality Modeling Language



# Abbildungsverzeichnis

1.1	Lernerfolge in Abhängigkeit der Methode . . . . .	1
1.2	Der „Erfahrungskegel“ von DALE . . . . .	2
1.3	Die Rückkopplung des Tuns auf die Wahrnehmung und das Denken . . . . .	3
1.4	System Diagramm . . . . .	5
1.5	Definition von Virtueller und Erweiterter Realität . . . . .	5
1.6	Mischen von realem und virtuellem Bild bei Erweiterter Realität . . . . .	7
1.7	Unterschied zwischen optischem und Video See-Through . . . . .	8
1.8	Schematischer Aufbau des AR Fernglas . . . . .	9
2.1	Die drei Merkmale von Virtueller Realität . . . . .	16
2.2	Das Berliner Modell . . . . .	18
2.3	Die neun W-Fragen der Didaktik . . . . .	18
2.4	Behavioristische Lernstrategie . . . . .	21
2.5	Reiz-Reaktions Schema . . . . .	22
2.6	Adaptionsprozess . . . . .	22
2.7	Die Sozialformen des Unterrichts . . . . .	24
3.1	Visualisierung von Molekülen mittels Virtueller Realität . . . . .	29
3.2	Darstellung eines antiken Laufwettkampfs mittels Erweiterter Realität . . . . .	30
3.3	Integrations von Photographien in eine VR Präsentation . . . . .	31
3.4	Interaktive Erforschung der Höhlen von Dunhuang . . . . .	32
4.1	Elemente einer Virtuellen Lernwelt . . . . .	35
4.2	3D Modell einer Stadt . . . . .	36
4.3	3D Modell einer Stadt (texturiert) . . . . .	36
4.4	Der virtuelle Reiseführer im Sieneser Dom . . . . .	40
4.5	Phasen einer Geometrieanimation . . . . .	43
4.6	Eine Simulation des Sonnensystems . . . . .	44
4.7	Headmounted Display . . . . .	46
4.8	Benutzer mit See-Through HMD . . . . .	46
5.1	Basissystem für Virtuelle Lernwelten . . . . .	49
5.2	Komponenten des Basissystems . . . . .	49
5.3	Aufbau einer dreidimensionalen Szene in Cinema 4D . . . . .	52
5.4	Szenenhierarchie . . . . .	53
5.5	Falsch ausgerichtete Eckpunktnormalen . . . . .	54
5.6	Z-Buffer Probleme . . . . .	55
5.7	Unterschied zwischen Gouraud Shading und Flat Shading . . . . .	57
5.8	Vergleich zwischen untexturierter und texturierter Szene . . . . .	57

5.9	Zuordnung von Flächen zu Texturausschnitten mittels UV Mapping . . . . .	58
5.10	Subdivision Surface (Kontrollgitter, erste und zweite Unterteilung) . . . . .	59
5.11	Kantenteilung / Edge-Split . . . . .	60
5.12	Knotenteilung / Vertex-Split . . . . .	60
5.13	Vergleich zwischen den Ergebnissen eines approximativen (links) und eines interpolativen (rechts) Verfahrens . . . . .	61
5.14	Beschreibung mittels Stencil-Maske (Loop-Schema) . . . . .	62
5.15	Berechnung eines neuen Face Vertex . . . . .	62
5.16	Lage von Edge und Control Vertices . . . . .	63
5.17	Die Module des Testsystems HYPE . . . . .	65
5.18	Architektur des Autorensystems . . . . .	66
5.19	Beispielhafter Feld-Editor für SFColor . . . . .	68
5.20	Beispielhafter generischer Knoten-Editor . . . . .	69
5.21	1-Point-Crossover . . . . .	72
5.22	2-Point-Crossover . . . . .	72
5.23	Uniform-Crossover . . . . .	72
5.24	Ergebnis nach 30 Generationen . . . . .	74
5.25	Ergebnis nach Ende der Optimierung . . . . .	74
5.26	Fish Evolution mittels Genetischer Algorithmen . . . . .	75
5.27	Die Architektur einer Virtuellen Lernwelt . . . . .	76
5.28	Klassendiagramm „Virtuelle Lernwelt“ . . . . .	77
5.29	Use Case Diagramm . . . . .	78
5.30	Sequenzdiagramm „Navigation in der Lernwelt“ . . . . .	79
5.31	Sequenzdiagramm „Manipuliere Objekte“ . . . . .	80
5.32	Sequenzdiagramm „Sammle Informationen“ . . . . .	81
6.1	Interaktion einer einzelnen Person in einer Lernwelt . . . . .	85
6.2	Interaktion in einer Lernwelt, verteilt auf mehrere Benutzer mit nur einem Interaktionsgerät . . . . .	86
6.3	Interaktion in einer Lernwelt durch Abstimmung mehrerer Benutzer . . . . .	86
6.4	Interaktion in einer Lernwelt, verteilt auf mehrere Benutzer . . . . .	87
6.5	Interaktion in einer verteilten Lernwelt . . . . .	88
6.6	Verteilte Interaktion in einer verteilten Lernwelt . . . . .	89
6.7	Typologie der unterschiedlichen Gruppengrößen . . . . .	91
6.8	Kommunikationsnetze . . . . .	92
6.9	Aufgabenverteilung in einer Multi-User Lernwelt . . . . .	94
6.10	Aufteilung der Gruppe in mehrere Untergruppen . . . . .	95
6.11	Gruppenverhalten je nach Kosten . . . . .	96
6.12	Gruppeninteraktion in einer gemeinsamen und in verteilten Virtuellen Welten . . . . .	97
6.13	Gruppeninteraktion an einen Virtual Table . . . . .	99
6.14	Beispiel für ein Massive-Multi-Player-Rollenspiel . . . . .	99
6.15	Kommunikations- und Interaktionsmöglichkeiten . . . . .	101
7.1	Klassifikationsschema für Interaktionsgeräte . . . . .	104
7.2	Datenhandschuh und HMD als spezielle VR Eingabegeräte . . . . .	105
7.3	Gamepad . . . . .	106
7.4	Taschenlampe als Eingabegerät für Virtuelle Welten . . . . .	107

7.5	Nachbildung eines Cockpits zur Steuerung eines Flugsimulators . . . . .	108
7.6	Der Augmented Man erkennt die Besucher mittels Kameratracking . . . . .	108
7.7	Virtuelle Geräte zur Einstellung von Datum und Uhrzeit . . . . .	109
7.8	Zwei mögliche Aufbauschemata des universellen Interaktionsgeräts . . . . .	111
7.9	Das mobile, drahtlose Klassenzimmer von Apple . . . . .	111
7.10	Systemdiagramm eines universellen Interaktionsgeräts für Lernwelten. . . . .	112
7.11	Sequenzdiagramm „Kommunikation über HTTP“ . . . . .	113
7.12	Sequenzdiagramm „Kommunikation über Fields and Routes“ . . . . .	114
7.13	Beispiel für die Verbindung von Feldern durch Routen . . . . .	115
7.14	Möglichkeiten für die Kommunikation zwischen Eingabegerät und VR-System . . . . .	115
7.15	Möglichkeiten für die Anbindung externer Interaktionsgeräte . . . . .	117
7.16	Mehrere Benutzer in einem Single-User Szenario . . . . .	119
8.1	Interaktion mit der Taschenlampe . . . . .	122
8.2	Systemdiagramm . . . . .	124
8.3	Modellierung des dreidimensionalen Modells des Doms von Siena . . . . .	125
8.4	Ein Besucher der EXPO 2000 beim Betrachten des Virtuellen Doms von Siena . . . . .	126
8.5	Die Benutzungsoberfläche der Präsentation „Der Virtuelle Dom von Siena“ . . . . .	127
8.6	Systemarchitektur . . . . .	128
8.7	Der virtuelle Zeustempel, eingeblendet in die reale Umgebung . . . . .	129
8.8	Virtueller Laufwettbewerb im realen Stadion . . . . .	130
8.9	Das Userinterface des Commanders in der normalen Ansicht . . . . .	132
8.10	Das Userinterface des Navigators . . . . .	133
8.11	Das Userinterface des Piloten . . . . .	134



# Literaturverzeichnis

- [AMSL01] ALTHOFF, FRANK, GREGOR MCGLAUN, GÜNTHER SPAHN und MANFRED K. LANG: *Combining Multiple Interaction Modalities for Virtual Reality Navigation - A User Study*. In: *9th Int. Conf. on Human-Computer Interaction (HCI International)*, 2001.
- [App03] *Apple Mobile wireless Classroom* (<http://www.apple.com/de/education/cart/>), 2003.
- [Ast95] ASTHEIMER, PETER: *Sonifikation numerischer Daten für Visualisierung und Virtuelle Realität*. Doktorarbeit, Technische Hochschule Darmstadt, April 1995.
- [Bäc92] BÄCK, THOMAS: *The interaction of mutation rate, selection, and selfadaptation within a genetic algorithm*. In: *Parallel Problem Solving from Nature 2, PPSN-II*, Seiten 87–96, September 1992.
- [Bau93] BAUMGARTNER, PETER: *Grundrisse einer handlungsorientierten Medienpädagogik*. Informatik Forum, (3):128–143, 1993.
- [BBC<sup>+</sup>02] BENINI, LUCA, MARIA ELENA BONFIGLI, LUIGI CALORI, ELISABETTA FARELLA und BRUNO RICCÒ: *Palmtop Computers for managing Interaction with Immersive Virtual Heritage*. In: *EUROMEDIA*, Seiten 183–189, 2002.
- [BBM93] BEASLEY, D., D. R. BULL und R. R. MARTIN.: *An overview of genetic algorithms: Part 1, fundamentals*. University Computing, 1993.
- [Bec94] BECKER, E.: *Weiterentwicklung hardwareimplementierbarer genetischer Algorithmen zur Optimierung bei der Entwicklung von Fuzzy-Systemen*. Diplomarbeit, Technische Hochschule darmstadt, 1994.
- [BEF<sup>+</sup>02] BEHR, JOHANNES, PETER ESCHLER, TORSTEN FRÖHLICH, CHRISTIAN KNÖPFE, BERND LUTZ, STEFAN MÜLLER und MARKUS ROTH: *Cybernarium Days 2002 - A Public Experience of Virtual and Augmented Worlds*. In: PENG, SHIETUNG (Herausgeber): *First International Symposium an Cyber Worlds*, 2002.
- [BFK<sup>+</sup>01] BEHR, JOHANNES, TORSTEN FRÖHLICH, CHRISTIAN KNÖPFLE, WOLFRAM KRESSE, BERND LUTZ, DIRK REINERS und FRANK SCHÖFFEL: *The Digital Cathedral of Siena - Innovative Concepts for Interactive and Immersive Presentation of Cultural Heritage Sites*. In: *International Cultural Heritage in Museums meeting*, 2001.

- [BH95] BOWMAN, DOUG A. und LARRY HODGES: *User Interface Constraints for Immersive Virtual Environment Applications*. Technischer Bericht GA 30332-280, Graphics, Visualization, and Usability Center, GIT, 1995.
- [BHB98] BOWMAN, DOUG A., LARRY F. HODGES und JAY BOLTER: *The Virtual Venue: User-Computer Interaction in Information-Rich Virtual Environments*. Presence, 7(5):478–493, October 1998.
- [BID<sup>+</sup>96] BOBICK, AARON F., STEPHEN S. INTILLE, JAMES W. DAVIS, FREEDOM BAIRD, CLAUDIO S. PINHANEZ, LEE W. CAMPBELL, YURI A. IVANOV, ARJAN SCHÜTTE und ANDREW WILSON: *The KidsRoom: A Perceptually-Based Interactive and Immersive Story Environment*. Technischer Bericht 398, M.I.T. Media Laboratory, 1996.
- [BIS<sup>+</sup>99] BRICKER, LAUREN, KORI INKPEN, JASON STEWART, BRAD MYERS und STEVEN POLTROCK: *Single Display Groupware: Exploring Computer Support for Co-located Collaboration*. In: *Conference on Human factors in computing systems CHI'99*, 1999.
- [BKJP01] BOWMAN, DOUG A., ERNST KRUIJFF, JOSEPH J. LAVIOLA JR. und IVAN POUPYREV: *An Introduction to 3-D User Interface Design*. Presence, 10(1), 2001.
- [CC78] CATMULL, E. und J. CLARK: *Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes*. Computer Aided Design 10(6), Seiten 350–355, 1978.
- [CNSD93] CRUZ-NEIRA, C., D.J. SANDIN und T.A. DEFANTI: *Surround-Screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE*. In: *Computer Graphics*. Siggraph, August 1993.
- [Com92] COMENIUS, JOHANN AMOS: *Grosse Didaktik*. Klett-Cotta, 1992.
- [Dal69] DALE, EDGAR: *Audio-Visual Methods in Teaching*. 3. Auflage. Holt, Rinehart, and Winston, 1969.
- [Dio96] DIONISIO, JOSE: *Temperature in Virtual Environments*. In: *Interactivity and Virtual Reality: Technologies and Applications*, Oktober 1996.
- [DKT00] DEROSE, TONY, MICHAEL KRASS und TIEN TROUNG.: *Subdivision Surfaces in Character Animation*. In: *SIGGRAPH 2000 Course Notes: Subdivision for Modeling and Animation*, 2000.
- [Dre03] DREHER, GERRIT: *Interaktionstechniken und Mensch-Maschine-Schnittstellen für Gruppen in virtuellen Umgebungen*. Diplomarbeit, Fachhochschule Offenburg - Medien und Informationswesen, 2003.
- [Esc00] ESCHLER, PETER: *Entwicklung eines komponentenbasierten Autorensystems für Virtuelle Umgebungen*. Diplomarbeit, Fachhochschule Darmstadt, October 2000.



- [ESK97] ENCARNAÇÃO, JOSÉ, WOLFGANG STRASSER und REINHARD KLEIN: *Modellierung komplexer Objekte und photorealistische Bilderzeugung*. Nummer 2 in *Graphische Datenverarbeitung*. Oldenbourg Verlag, 4 Auflage, 1997.
- [FBB<sup>+</sup>02] FARELLA, ELISABETTA, DAVIDE BRUNELLI, MARIA ELENA BONFIGLI, LUCA BENINI, MARCO GAIANI und BRUNO RICCÒ: *Using Palmtop Computers and Immersive Virtual Reality for Cooperative archaeological analysis: the Appian Way case study*. In: *International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)*, 2002.
- [FBBR03] FARELLA, ELISABETTA, DAVIDE BRUNELLI, LUCA BENINI und BRUNO RICCÒ: *Multi-Client Cooperation and Wireless PDA Interaction in Immersive Virtual Environment*. In: *Euromedia 2003*, 2003.
- [Fei02] FEIX, AXEL: *Subdivision Surfaces für Modellierung und Virtuelle Realität*. Diplomarbeit, Technische Universität Darmstadt, 2002.
- [FLKB01] FRÖHLICH, TORSTEN, BERND LUTZ, WOLFRAM KRESSE und JOHANNES BEHR: *The Virtual Cathedral of Siena*. *Computer Graphics topics*, 3:24–26, 2001.
- [FvDFH95] FOLEY, JAMES D., ANDRIES VAN DAM, STEVEN K. FEINER und JOHN F. HUGES: *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley Publishing Company, Second Edition in C Auflage, 1995.
- [GCR01] GAITATZES, ATHANASIOS, DIMITROS CHRISTOPOULOS und MARIA ROUSSOU: *Virtual Reality Interfaces for the Broad Public*. In: AVOURIS, N. und N. FAKOTAKI (Herausgeber): *Advances in Human Computer Interaction I - Proceedings of PC HCI 2001*, Seiten 159–164, 2001.
- [Gou71] GOURAUD, H.: *Continuous Shading of Curved Surfaces*. In: *IEEE Trans. on Computers*, Seiten 623 – 629, June 1971.
- [GSM93] G.W., FITZMAURICE, ZHAI S. und CHIGNELL M.H.: *Virtual Reality for Palmtop Computers*. In: *ACM Transactions on Information Systems Vol. 11*, Seiten 197–218, July 1993.
- [HBCN02] HARTLING, PATRICK L., ALLEN D. BIERBAUM und CAROLINA CRUZ-NEIRA: *Tweek: Merging 2D and 3D Interaction in Immersive Environments*. In: *6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics, and Informatics*, July 2002.
- [HCB] HAY, KENNETH E., JANE CROZIER und MICHAEL BARNETT: *Virtual Gorilla Modeling Project: Two Case Studies of Middle-School Students Building Computational Models for Inquiry*.
- [IBKU95] INKPEN, KORI, KELLOG S. BOOTH, MARIA KLAWE und RENA UPITIS: *Playing Together Beats Playing Apart, Especially for Girls*. In: *CSCL'95*, Seiten 17–20. Blooming, October 1995.
- [Ioa02] IOANNIDIS, NIKOLAOS: *Augmented reality-based cultural heritage on-site guide*. GITC bv, 2002.

- [Jam02] JAMESON, ANTHONY: *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, evolving technologies, and emerging applications*, Kapitel Adaptive Interfaces and Agents, Seiten 305–330. Lawrence Erlbaum Associates Inc., 2002.
- [JM02] JANK, WERNER und HILBERT MEYER: *Didaktische Modelle*. Cornelson Scriptor, 5 Auflage, 2002.
- [Joh00] JOHNSON, ANDREW: *Deploying VR in an elementary school - Pipe Dreams and Practical Realities*. In: *IPT 2000*, June 2000.
- [Jr.00] JR., JOSEPH J. LAVIOLA: *A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments*. SIGCHI Bulletin, 32(1):47–56, January 2000.
- [JRL<sup>+</sup>98] JOHNSON, ANDREW, MARIA ROUSSOS, JASON LEIGH, CHRISTINA VASILAKIS, CRAIG BARNES und THOMAS MOHER: *The NICE Project: Learning Together in a Virtual World*. In: *VRAIS*, 1998.
- [JYO02] JI-YOUNG OH, WOLFGANG STUERZLINGER: *Laser Pointers as Collaborative Pointing Devices*. In: *Graphics Interface 2002*, Seiten 141–149, 2002.
- [KB93] KURTENBACH, G. und W. BUXTON: *The limits of expert performance using hierarchical marking menus*. In: *CHI 93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, Seiten 482–487, 1993.
- [Knö] KNÖPFLE, DR. CHRISTIAN: *HEyeWall - Perfect Pictures for New Business Solutions*.
- [Kol95] KOLASINSKI, EUGENIA M.: *Simulator Sickness in Virtual Environments*. Technischer Bericht, U.S. Army Research Insitute, 1995.
- [LBSB04] LUTZ, BERND, MARIO BECKER, DIDIER STRICKER und ULI BOCKHOLT: *The Augmented Reality Ocular Reality Ocular*. In: *VRCAI 2004, ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry*, 2004.
- [LDP<sup>+</sup>02] LIN, JAMES JENG-WEI, HENRY B.L. DUH, DONALD E. PARKER, HABIB ABI-RACHED und THOMAS A. FURNESS: *Effects of Field of View an Presence, Enjoyment, Memory, and Simulator Sickness in a Virtual Environment*. In: *IEEE Virtual Reality Conference 2002*, 2002.
- [LF00] LUTZ, BERND und TORSTEN FRÖHLICH: *Virtuelles Geschichtenerzählen - Der Dom von Siena*. In: *Digital Storytelling*, 2000.
- [LS04] LUTZ, BERND und JÖRG SCHINDLER: *The Augmented Reality Telescope - Interactive Presentation of Content*. 2004.
- [Lut01] LUTZ, BERND: *Präsentation von Kulturgütern mittels Virtueller Realität und Augmented Reality*. In: FRINGS, MARCUS (Herausgeber): *Der Modelle Tugend - CAD und die neuen Räume der Kunstgeschichte*. VDG Weimar, 2001.

- [Lut02] LUTZ, BERND: *Computer Art Faszination 2002*, Kapitel Das Keltengrab vom Glauberg - Eine Computervisualisierung, Seiten 54 – 56. CAF Verlag, 2002.
- [LW99] LUTZ, BERND und MIKE WEINTKE: *Virtual Dunhuang Art Cave - A cave within a CAVE*. In: *EUROGRAPHICS '99*, 1999.
- [MBK02] MCGUFFIN, MICHAEL, NICOLAS BURTONYK und GRODON KURTENBACH: *FaST Sliders: Integrating Marking Menues and the Adjustment of Continuous Values*. In: *Graphics Interface 2002*, Seiten 35–41, 2002.
- [PKK<sup>+</sup>02] PARK, CHANGHOON, HEEDONG KO, IG-JAE KIM, SANG CHUL AHN, YONG-MOO KWON und HYOUNG-GON KIM: *The Making of Kyongju VR Theatre*. In: *IEEE Virtual Reality*, 2002.
- [Rei02] REINERS, DIRK: *OpenSG: A Scene Graph System for Flexible and Efficient Realtime Rendering for Virtual and Augmented Reality Applications*. Doktorarbeit, TU Darmstadt, Juni 2002.
- [Rey99] REYNOLDS, CRAIG: *Steering Behaviors For Autonomous Characters*. In: *Game Developers Conference*, 1999.
- [Rie01] RIEDL, ALFRED: *Handlungsorientiertes Lernen - Aktuelle Entwicklungen aus der Lehr-Lern-Forschung und deren Anwendung im Unterricht*. Lehrstuhl für Pädagogik an der Technischen Universität München, 2001.
- [Rie02] RIEDL, ALFRED: *Didaktik I - Grundlagen*. Technische Universität München, Oktober 2002.
- [RJJ<sup>+</sup>99] R., FIELDING, GETTYS J., MOGUL J.C., FRYSTYK H, MASINTER L., LEACH P. und BERNERS-LEE T.: *Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1*. Technischer Bericht, 1999.
- [RJM<sup>+</sup>99] ROUSSOS, MARIA, ANDREW JOHNSON, THOMAS MOHER, JASON LEIGH, CHRISTINA VASILAKIS und CRAIG BARNES: *Learning and Building Together in an Immersive Virtual World*. Presence, 1999.
- [Rou00] ROUSSOU, MARIA: *Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education*. In: *User Interfaces for All: Interactive Learning Environments for Children*, February 2000.
- [SBD99] STEWART, JASON, BENJAMIN B. BEDERSON und ALLISON DRUIN: *Single Display Groupware: A Model for Co-present Collaboration*. In: *Conference on Human factors in computing systems CHI'99*, Seiten 286–293, 1999.
- [Sch80] SCHÄFERS, B.: *Einführung in die Gruppensoziologie*, Kapitel Entwicklung der Gruppensoziologie und Eigenständigkeit der Gruppe als Sozialgebilde, Seite 20 ff. B. Schäfers, Heidelberg, 1980.
- [Sch97] SCHRÖDER, FLORIAN: *Visualisierung Meteorologischer Daten*. Doktorarbeit, Technische Hochschule Darmstadt, 1997.

- [Sch98] SCHWARZENBERG (Herausgeber): *Roche Lexikon Medizin*. Hoffmann-La Roche AG und Urban & Schwarzenberg, 4. Auflage Auflage, 1998.
- [Ses00] SESINK, WERNER: *Grundlagen der Informationspädagogik - Begleitender Text zur Vorlesung WS 2000 / 2001*. Technischer Bericht, Institut für Pädagogik der TU Darmstadt, 2000.
- [Sha00] SHARP, BRIAN: *Subdivision Surface Theory*. Game Developer magazine, Seiten 34–42, April 2000.
- [SS01] SCHELL, JESSE und JOE SHOCHET: *Designing Interactive Theme Park Rides - Lessons Learned Creating Disney's Pirates of the Caribbean - Battle for the Buccaneer Gold*. IEEE Computer Graphics, 21(4):11–13, July/August 2001.
- [Sta03] STANGL, WERNER: *[werner.stangl]s arbeitsblätter*, 2003.
- [Stu02] STUDIOS, IMMERSION: *Immersion Experience*. [www.imm-studios.com](http://www.imm-studios.com), 2002.
- [SW02] SCHRÖDER, RUDOLF und DIRK WANKELMANN: *Theoretische Fundierung einer e-Learning-Didaktik und der Qualifizierung von e-Tutoren*. Technischer Bericht, Universität Paderborn, 2002.
- [WDC] WATSEN, KENT, RUDOLPH P. DARKEN und MICHAEL V. CAPPS: *A Hand-held Computer as an Interaction Device to a Virtual Environment*.
- [WP01] WATT, ALAN und FABIO POLICARPO: *3D Games Volume One Real-time Rendering and Software Technology*. Addison Wesley, 2001.
- [Yee03] YEE, KA-PING: *Peephole Displays: Pen Interaction on Spatially Aware Handheld Computers*. In: *Computer-human interaction, CHI 2003*, 2003.
- [YKN<sup>+</sup>04] YANAGIDA, YASUYUKI, SHINJIRO KAWATO, HARUO NOMA, AKIRA TOMONO und NOBUJI TETSUTANI: *Projection-Based Olfactory Display with Nose Tracking*. In: *IEEE Virtual Reality*, Seiten 43–50, 2004.
- [Zac00] ZACHMANN, GABRIEL: *Virtual Reality in Assembly Simulation - Collision Detection, Simulation Algorithms and Interaction Techniques*. Doktorarbeit, Technische Universität Darmstadt, 2000.
- [Zie97] ZIEGLER, ROLF: *System zum integrierten Einsatz von haptischen Displays in Virtuellen Umgebungen*. Doktorarbeit, Technische Hochschule Darmstadt, 1997.
- [Zor00] ZORIN, DENIS: *Subdivision Zoo*. In: *SIGGRAPH 2000 Course Notes: Subdivision for Modeling and Animation*, 2000.

## Eigene Veröffentlichungen

BEHR, JOHANNES, PETER ESCHLER, TORSTEN FRÖHLICH, CHRISTIAN KNÖPFE, BERND LUTZ, STEFAN MÜLLER MARKUS ROTH: *Cybernarium Days 2002 - A Public Experience of Virtual and Augmented Worlds*.

PENG, SHIETUNG *First International Symposium an Cyber Worlds*, 2002.

BEHR, JOHANNES, TORSTEN FRÖHLICH, CHRISTIAN KNÖPFLE, WOLFRAM KRESSE, BERND LUTZ, DIRK REINERS FRANK SCHÖFFEL: *The Digital Cathedral of Siena - Innovative Concepts for Interactive and Immersive Presentation of Cultural Heritage Sites*.

*International Cultural Heritage in Museums meeting*, 2001.

FRÖHLICH, TORSTEN, BERND LUTZ, WOLFRAM KRESSE JOHANNES BEHR: *The Virtual Cathedral of Siena*.

*Computer Graphics topics*, 3:24–26, 2001.

LUTZ, BERND, MARIO BECKER, DIDIER STRICKER ULI BOCKHOLT: *The Augmented Reality Ocular Reality Ocular*.

*VRCAI 2004, ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry*, 2004.

LUTZ, BERND TORSTEN FRÖHLICH: *Virtuelles Geschichtenerzählen - Der Dom von Siena. Digital Storytelling*, 2000.

LUTZ, BERND JÖRG SCHINDLER: *The Augmented Reality Telescope - Interactive Presentation of Content*.

*CARVI 2004*.

LUTZ, BERND: *Präsentation von Kulturgütern mittels Virtueller Realität und Augmented Reality*.

FRINGS, MARCUS *Der Modelle Tugend - CAD und die neuen Räume der Kunstgeschichte*. VDG Weimar, 2001.

LUTZ, BERND: *Computer Art Faszination 2002*, Das Keltengrab vom Glauberg - Eine Computer-visualisierung,

54 –56. CAF Verlag, 2002.

LUTZ, BERND MIKE WEINTKE: *Virtual Dunhuang Art Cave - A cave within a CAVE*.

*EUROGRAPHICS '99*, 1999.

LUTZ, BERND ROLF ZIEGLER: *VR Geo - A Planning Tool for the Redevelopment of Landscape*.

*Virtual Environments 1998*, 21/1 – 21/8. Springer, 1998.



# Lebenslauf

Persönliche Daten	
	Bernd Lutz Am Alten Bahnhof 4 64293 Darmstadt Geboren am 3.10.1967 in Aschaffenburg Staatsangehörigkeit: deutsch Familienstand: verheiratet Vater: Adolf Lutz, 26.8.1947 Mutter: Brigitte Lutz, geb. Bergmann, 29.10.1950 Bruder: Martin Lutz, 22.7.1982 Tochter: Melanie Lutz, 20.05.1992
Schulbildung	
1974 - 1978	Pestalozzi-Volksschule Aschaffenburg
1978 - 1980	Firmenschule der Philipp Holzmann AG, Riyadh, Saudi Arabien
1980 - 1982	Firmeneigene Schule der Philipp Holzmann AG, Tabuk, Saudi Arabien
1982 - 1987	Friedrich-Dessauer-Gymnasium Aschaffenburg
1987	Abitur am Friedrich-Dessauer Gymnasium, Aschaffenburg
Hochschulbildung	
1987	Studienbeginn an der Technischen Hochschule Darmstadt, Studiengang Elektrotechnik
1996	Erlangen des Diploms in der Fachrichtung Elektrotechnik, Studienrichtung Datentechnik
Berufstätigkeit	
Seit 1996	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Graphische Datenverarbeitung e.V., Darmstadt
Sprachkenntnisse	
	Deutsch (Muttersprache) Englisch (sehr gute Kenntnisse) Spanisch (gute Kenntnisse) Französisch (Schulkenntnisse)
Außerberufliche Aktivitäten und Interessen	
	Lesen Reisen Sportklettern Brettspiele